



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Sicheres Verkehrswegemuster? Eine Untersuchung des Einflusses der Verkehrsnetzgeometrie auf das Verkehrsunfallrisiko am Beispiel der Stadt Wien

verfasst von / submitted by

Philipp Gintenstorfer, BA BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhalt

Inhalt.....	ii
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Abstract	x
Kurzfassung	xi
1 Einleitung.....	1
2 Form- und Musteranalyse in der Geoinformation	4
2.1 Grundlagen der räumlichen Analyse.....	4
2.1.1Zwei Perspektiven der räumlichen Analyse	4
2.1.2Anwendungsmöglichkeiten der räumlichen Analyse	5
2.2 Die Rolle von Geoinformationssystemen bei der räumlichen Analyse	7
2.3 Musteranalyse bei Punktgeometrien	8
2.4 Form- und Musteranalyse bei Linien- und Polygongeometrien.....	10
2.4.1Form von Polygongeometrien	10
2.4.2Muster von Polygongeometrien.....	11
2.5 Form- und Musterklassifizierung mittels multivariatem strukturellem Ansatz	11
2.5.1Grundlagen der Faktorenanalyse	12
2.5.2Grundlagen der Clusteranalyse.....	12
2.5.3Untersuchungen mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes.....	14
3 Verkehrswegemuster	15
3.1 Gestaltung von Verkehrswegemustern.....	16
3.2 Historische Entwicklung von Verkehrswegemustern	17
3.2.1Unstrukturierte Muster der gewachsenen Städte	17
3.2.2Rechtwinkelige, rasterförmige Muster der geplanten Städte	17
3.2.3Nicht rechtwinkelige, geplante Strukturen der Neuzeit	18
3.2.4Hierarchische Strukturen des 20. Jahrhunderts.....	18

3.3	Möglichkeiten zur Klassifizierung von Verkehrswegemustern	19
3.3.1	Klassifizierung nach geometrischen Gesichtspunkten (Komposition)	20
3.3.2	Klassifizierung nach topologischen Gesichtspunkten (Konfiguration)	20
3.3.3	Integrierte Klassifizierung nach geometrischen und topologischen Gesichtspunkten	22
3.3.4	Automatisierte Klassifikation von Verkehrswegemustern mithilfe von GIS.....	22
4	Einflussfaktoren und Charakteristiken des Verkehrsunfallgeschehens.....	25
4.1	Der Einfluss von Wahrnehmung und Verhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer	26
4.1.1	Menschliche Wahrnehmung im Verkehr	26
4.1.2	Menschliches Verhalten im Verkehr	27
4.2	Der Einfluss der Verkehrsmittelwahl	29
4.3	Der Einfluss der Geschwindigkeit.....	30
4.4	Der Einfluss der Verkehrswegehierarchie.....	31
4.5	Der Einfluss von Verkehrswegemustern	32
4.6	Unmittelbare Verkehrsunfallursachen.....	35
4.7	Die räumliche Verteilung von Verkehrsunfällen	36
4.8	Die zeitliche Verteilung von Verkehrsunfällen.....	37
5	Methodik.....	39
5.1	Datengrundlagen	40
5.1.1	Datengrundlage für das Verkehrswegenetz	40
5.1.2	Datengrundlage für das Verkehrsunfallgeschehen	41
5.1.3	Datengrundlage für das Verkehrsaufkommen	42
5.2	Realisierung räumlicher Bezugsflächen.....	43
5.3	Datenaufbereitung	44
5.3.1	Aufbereitung der Verkehrswegedaten	44
5.3.2	Aufbereitung der Daten zum Verkehrsunfallgeschehen	47
5.3.3	Aufbereitung und Interpolation der Daten zum Verkehrsaufkommen	49
5.4	Berechnung von form- und musterbezogenen Kennzahlen	49
5.4.1	Geometrische Kennzahlen der Blöcke.....	50
5.4.2	Topologische Kennzahlen der Blöcke	51

5.4.3	Geometrische Kennzahlen der Verkehrswege	52
5.4.4	Topologische Kennzahlen der Verkehrswege	54
5.4.5	Standardisierung der Kennzahlen	54
5.5	Klassifizierung der Verkehrswegemuster mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes	55
5.5.1	Dimensionsreduktion mittels Faktorenanalyse	55
5.5.2	Klassifizierung mittels hierarchischer Clusteranalyse	55
5.6	Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos	56
5.6.1	Allgemeine Vorgangsweise zur Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos	56
5.6.2	Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos für die beiden Geschlechter und einzelnen Verkehrsmittel	57
5.7	Berechnung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko mittels Varianzanalyse	59
6	Ergebnisse.....	60
6.1	Ergebnisse der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster	60
6.1.1	Ergebnisse der Kennzahlenberechnung	60
6.1.2	Ergebnisse der Faktorenanalyse	62
6.1.3	Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse	65
6.1.4	Charakterisierung der resultierenden Klassen	67
6.2	Ergebnisse der Bestimmung von Verkehrsaufkommen und Verkehrsunfallrisiko	70
6.2.1	Bestimmung des Verkehrsaufkommens	70
6.2.2	Bestimmung des allgemeinen Verkehrsunfallrisikos.....	70
6.2.3	Bestimmung des geschlechterspezifischen Verkehrsunfallrisikos.....	70
6.2.4	Bestimmung des verkehrsmittelspezifischen Verkehrsunfallrisikos	73
6.3	Ergebnisse der Berechnungen zum Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko	74
6.3.1	Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und gesamtem Verkehrsunfallrisiko	74
6.3.2	Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und nach Geschlechtern getrenntem Verkehrsunfallrisiko	76
6.3.3	Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und nach Verkehrsmitteln getrenntem Verkehrsunfallrisiko	76

6.4 Interpretation der Ergebnisse	78
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	81
8 Literatur	83
Anhang I : Python-Skript zur Realisierung räumlicher Bezugsflächen, Aufbereitung der Verkehrswegedaten und Berechnung der Kennzahlen	87
Anhang II : Python-Skript zur räumlichen Aggregierung des Verkehrsunfallgeschehens, der Datenaufbereitung und Interpolation des Verkehrsunfallgeschehens sowie der Berechnung des Verkehrsunfallrisikos	104
Anhang III : Übersicht über die Rasterzellen mit minimalem und maximalem Wert jeder Kennzahl	110
Anhang IV : Räumliche Verteilung ausgewählter geometrischer und topologischer Kennzahlen	116
Anhang V : Verkehrsunfallrisiko allgemein, nach Geschlecht und nach Verkehrsmittel	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfaches Beispiel für die Wirkungsweise von Randeffekten: Bei der Berechnung der durchschnittlichen Blockfläche innerhalb der Rasterzelle muss berücksichtigt werden, dass sich die Blöcke am Rand der Rasterzelle nur teilweise innerhalb dieser befinden (Eigene Erstellung)	6
Abbildung 2: Exemplarische Darstellung von Effekten 1. Ordnung (links) und Effekten 2. Ordnung (rechts) (Eigene Erstellung)	9
Abbildung 3: Veranschaulichung des Modifiable Areal Unit Problems (MAUP): Je nach Wahl der räumlichen Bezugsflächen lässt sich mit denselben Punktdaten sowohl eine absolute Gleichverteilung (links), als auch stark ungleiche Verteilung der Punkte auf die einzelnen Flächen erreichen (Eigene Erstellung)	10
Abbildung 4: Vergleich zwischen Verkehrswegemuster, Grundstücksmuster und Gebäudemuster (Quelle: DING UND TONG 2011:322; Eigene Bearbeitung)	15
Abbildung 5: Urbane Assoziationen der ABCD-Klassifizierungstypen von Verkehrswegemustern (Quelle: MARSHALL 2005: 85; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)	21
Abbildung 6: Unterschied zwischen Komposition und Konfiguration eines Verkehrswegenetzes (Quelle: MARSHALL 2005: 86; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)	21
Abbildung 7: Integrierte Taxonomie der Verkehrswegemuster (Quelle: MARSHALL 2005: 91; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)	22
Abbildung 8: Typische Vertreter der vier resultierenden Haupttypen der Verkehrswegemuster in der Untersuchung von LOUF und BARTHELEMY (2014): (Quelle: ebd.: 5)	24
Abbildung 9: Visual Statistical Diagrams (unten) ausgewählter Straßenzüge (oben) aus ausgewählten Städten (Quelle: DING UND TONG 2011: 329f)	24
Abbildung 10: Modell zum Verkehrsverhalten und dessen Folgen im Straßenverkehr (nach MARX ET AL. 1996; Eigene Erstellung)	27
Abbildung 11: Modal Split, Hauptverursacher von Verkehrsunfällen mit Personenschäden, Verletzte und Schwerverletzte im Straßenverkehr nach Verkehrsmittel in Wien 2015 (Datenquelle Verkehrsunfallzahlen: STATISTIK AUSTRIA 2016a, Datenquelle Modal Split: FAHRRAD WIEN 2016; Eigene Erstellung)	29
Abbildung 12: Standard für die hierarchische Gestaltung des Verkehrswegemusters von Wohngebieten des US-amerikanischen Institute of Transportation Engineers (ITE) von 1965 (Quelle: SOUTHWORTH und BEN-JOSEPH 2003: 101)	32

Abbildung 13: Ablaufdiagramm der Untersuchung (Eigene Erstellung).....	40
Abbildung 14: Digitalisierungsungenauigkeiten im Straßengraphen der Stadt Wien (jeweils links) und deren Verbesserung (jeweils rechts): Verkehrswege treffen sich nicht genau in einem Punkt (oben), sind mehrfach parallel digitalisiert (mittig) oder enden nicht genau an der Kreuzung (unten) (Eigene Erstellung) .	45
Abbildung 15: Umwandlung von Kreisverkehren (links) in Kreuzungen (rechts) (Eigene Erstellung).....	45
Abbildung 16: Ergebnis der manuellen Bearbeitung (braun) und ursprünglich enthaltene, entfernte oder geänderte Segmente (blau) am Beispiel der Wiener Innenstadt (Eigene Erstellung)	46
Abbildung 17: Veranschaulichung der Berechnung der Anzahl an begrenzenden Verkehrsflächen mittels 30-Meter-Puffer um die Blöcke und Zählen der beinhaltenen Segmente (Eigene Erstellung)	52
Abbildung 18: Veranschaulichung der Berechnung des minimalen Schnittwinkels mittels 5-Meter-Puffer: Kreuzung mit dem höchsten minimalen Schnittwinkel im Datensatz mit 118,6 ° sowie eine Kreuzung mit 90,0 ° (Eigene Erstellung)	53
Abbildung 19: Berücksichtigte Rasterzellen in der Untersuchung (Eigene Erstellung) ...	61
Abbildung 20: Ähnlichste Verkehrswegemuster in Wien (Eigene Erstellung).....	65
Abbildung 21: Ergebnis der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster in Wien 2016 (Datengrundlage Verkehrswege: MA21 2016; Datengrundlage Stadtgrenzen: MA41 2016; Eigene Erstellung)	66
Abbildung 22: Ausgewählte typische Vertreter der sechs Verkehrswegemusterklassen (Eigene Erstellung)	69
Abbildung 23: Verkehrsaufkommen (JDTV) in Wien 2010 (Eigene Erstellung).....	71
Abbildung 24: Allgemeines Verkehrsunfallrisiko je Verkehrswegesegment in Wien 2016 (Eigene Erstellung)	72
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Verkehrsunfallrisiko und Verkehrswegemuster in Wien 2016 (Eigene Erstellung)	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unfälle mit Personenschaden nach Hauptunfallursache (Quelle: Statistik Austria 2016a; Eigene Erstellung)	36
Tabelle 2: Verteilung der Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien 2015 auf die einzelnen Wochentage (Quelle: Statistik Austria 2016a; Eigene Erstellung)....	38
Tabelle 3: Verteilung der Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien 2015 auf die einzelnen Monate (Quelle: Statistik Austria 2016a; Eigene Erstellung)	38
Tabelle 4: Für diese Untersuchung verwendete Klassifizierung der Verkehrsmittel in fünf Klassen (Eigene Erstellung).....	48
Tabelle 5: In der Untersuchung berücksichtigte form- und musterbezogene Kennzahlen (Eigene Erstellung)	50
Tabelle 6: Rotierte Komponentenmatrix mit besonderer Hervorhebung der rotierten Ladungen $\leq -0,5$ (blau), $-0,5$ bis $-0,25$ (hellblau), $0,25$ bis $0,5$ (hellrot) sowie $\geq 0,5$ (rot) (Eigene Erstellung).....	63
Tabelle 7: Durchschnittswerte der einzelnen Klassen bei den standardisierten Kennzahlen; Klasse mit dem niedrigsten und höchsten Wert bei jeder Kennzahl, sowie nahe an diesen Extrema liegende Werte, sind jeweils farblich hervorgehoben; Unregelmäßigkeit beschreibt den Mittelwert der Standardabweichungswerte (Eigene Erstellung)	67
Tabelle 8: Berechnung des Weglängenanteils der einzelnen Verkehrsmittel (Datenquelle Modal Split: Fahrrad Wien 2016; Datenquelle Durchschnittliche Weglänge: BMVIT 2016 Anhang C / Teil 3 / Seite 10; Eigene Erstellung).....	73
Tabelle 9: Mittelwert und Standardabweichung des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung)	74
Tabelle 10: Mittelwert des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen nach Beteiligungen der beiden Geschlechter insgesamt und als Hauptverursachende in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung).....	76
Tabelle 11: Mittelwert des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen nach Beteiligungen der einzelnen Verkehrsmittel insgesamt und als Hauptverursachende in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung).....	78

Abkürzungsverzeichnis

EMIV	Einspuriger motorisierter Individualverkehr
GIS	Geoinformationssystem
JDTV	Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
MIV	Motorisierter Individualverkehr (Summe aus EMIV und ZMIV)
NMIV	Nicht-motorisierter Individualverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ZMIV	Zweispuriger motorisierter Individualverkehr
MAUP	Modifiable Areal Unit Problem

Abstract

In the past few years, geoinformation techniques have become increasingly important for traffic accident research. While traditionally the focus is on the identification of traffic accident hot spots, this paper investigates the influence of the traffic route pattern on the traffic accident risk using the example of the city of Vienna. Therefore, the investigation area was divided into grid cells, and for each cell the traffic route pattern was automatically calculated by using a Python script, which calculates geometrical and topological indicators using a Geographic Information System (GIS). These indicators have been utilised to classify the grid cells into clusters of traffic route patterns using the multivariate structured approach, consisting of both factor and cluster analysis. The traffic accident risk was also calculated for each grid cell, wherefore the absolute number of traffic accidents was normalised with the traffic volume of traffic as well as with the traffic route length. The influence of the traffic route pattern on the traffic accident risk was finally calculated using an analysis of variance. So apart from the general traffic accident risk, gender and different means of transport were taken into account. It was shown that the orthogonal iron-grid pattern is the most hazardous pattern for all analysed groups, while suburban, hierarchical patterns are comparatively safe. Although no gender specific differences could be determined, the results for the different means of traffic actually varied considerably. For example, for pedestrians and for the non-motorized traffic large, irregular patterns are especially risky, while loose, oblique patterns are relatively safe for these groups.

Kurzfassung

Die Geoinformation erlangte in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung für die Verkehrsunfallforschung. Liegt der Fokus traditionell auf der Identifikation von Verkehrsunfallhotspots, soll im Rahmen dieser Arbeit ein neuer Ansatz verfolgt werden, indem der Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko analysiert wird. Die Untersuchung erfolgt am Beispiel der Stadt Wien. Dabei wurde das Untersuchungsgebiet in Rasterzellen unterteilt, und für jede Rasterzelle das Verkehrswegemuster automatisiert mithilfe eines Python-Skripts ermittelt, welches Berechnungen von geometrischen und topologischen Kennzahlen in einem Geoinformationssystem (GIS) steuert. Anhand dieser Kennzahlen wurden die Rasterzellen mittels des multivariaten strukturellen Ansatzes, bestehend aus Faktoren- und Clusteranalyse, in Klassen von Verkehrswegemustern eingeteilt. Das Verkehrsunfallrisiko wurde ebenfalls für jede Rasterzelle berechnet, wobei hierfür die absolute Anzahl an Unfällen mit dem Verkehrsaufkommen und der jeweiligen Verkehrswegelänge relativiert wurde. Der Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko wurde schließlich mit einer Varianzanalyse berechnet. Auf diese Weise wurden neben dem allgemeinen Einfluss auch der geschlechter- und verkehrsmittelspezifische Einfluss des Verkehrswegenetzes auf das Verkehrsunfallrisiko bestimmt. So konnte insbesondere gezeigt werden, dass rechtwinkelige Rastermuster für alle Gruppen die gefährlichsten Muster darstellen, während suburbane, hierarchische Muster vergleichsweise sicher sind. Zwar konnten keine geschlechterspezifischen Unterschiede festgestellt werden, allerdings waren die Ergebnisse für die einzelnen Verkehrsmittel durchaus verschieden. Insbesondere für Fußgängerinnen und Fußgänger sowie für den NMIV sind große, unregelmäßige Muster relativ gefährlich, während lockere schiefe Muster für diese Gruppen als vergleichsweise sicher einzustufen sind.

1 Einleitung

Der Straßenverkehr ist eine der größten Gefahrenquellen für Unfälle mit Todes- und Verletzungsfolgen. Im Jahr 2015 kamen in Österreich 479 Personen im Straßenverkehr ums Leben, 7.486 Personen wurden schwer und 39.880 Personen leicht verletzt. Neben den persönlichen Schicksalen ergibt sich dadurch auch ein enormer finanzieller Schaden für die Allgemeinheit. Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) schätzt die volkswirtschaftlichen Folgekosten von Verkehrsunfällen in Österreich auf 6,7 Milliarden Euro pro Jahr (vgl. BMVIT 2012).

Die Reduktion der Zahl und Schwere von Verkehrsunfällen ist daher eines der zentralen Ziele der Verkehrspolitik. Entsprechend hat auch die Forschung zu den Unfallursachen eine hohe Bedeutung. Je genauer die Ursachen zur Entstehung von Verkehrsunfällen bekannt sind, umso effizienter und gezielter können Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger dabei unterstützt werden, entsprechende Maßnahmen zu setzen. Viele Faktoren, die die Verkehrssicherheit positiv beeinflussen können, sind gut erforscht und werden durch entsprechende Maßnahmen bereits gezielt beeinflusst. Allerdings gibt es auch Faktoren, die in den Erhebungen zur Verkehrssicherheit bisher kaum Beachtung fanden, deren Einfluss aber mittels Geoinformationssystemen sehr gut analysiert werden kann, wie etwa das Muster des Verkehrswegenetzes. Dabei ist es durchaus plausibel anzunehmen, dass das Muster des Verkehrswegenetzes einen entscheidenden Einfluss auf das Verkehrsunfallrisiko hat.

Die Charakteristik und Klassifizierung verschiedener Verkehrswegemuster hat mich immer schon fasziniert, und insbesondere auch durch meine persönliche Wahrnehmung, dass das Verkehrswegemuster einen deutlichen Einfluss auf das subjektive Sicherheitsgefühl hat, ist die Idee entstanden, diesen Zusammenhang im Rahmen meiner Masterarbeit zu untersuchen.

Es gab bereits eine Reihe von Untersuchungen, insbesondere in Nordamerika, welche sich mit dem Einfluss des Verkehrswegenetzmusters auf das Verkehrsunfallrisiko beschäftigten. Sie basieren allerdings allesamt auf einer subjektiven Klassifizierung der Verkehrswegemuster durch die Studienautorinnen und -autoren selbst bzw. durch Expertinnen und Experten, wobei dadurch nur wenige Aspekte berücksichtigt wurden, welche dem Betrachter sofort ins Auge springen und oft mit bestimmten städtebaulichen oder historischen Konnotationen verbunden sind, wie etwa das rechtwinkelige Straßenraster, das radiales Verkehrswegemuster oder die suburbane, hierarchische Sackgassenstruktur.

Im Gegensatz dazu soll im Rahmen dieser Masterarbeit der Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko mittels Geoinformationssystem (GIS) untersucht werden, indem das Verkehrswegemuster anhand von verschiedenen geometrischen und topologischen Kennzahlen automatisiert klassifiziert wird. Die Verwendung eines GIS für diese Untersuchung hat mehrere Vorteile. Eine der großen Stärken eines GIS ist die Möglichkeit, große Datenmengen systematisch zu analysieren. Dadurch ist es leicht möglich, eine ausreichend hohe Anzahl an räumlichen Bezugsflächen in die Untersuchung miteinzubeziehen, um ein signifikantes Ergebnis zu erzielen.

Außerdem sind in einem GIS viele Funktionen, wie etwa zur Berechnung von geometrischen und topologischen Eigenschaften, bereits vordefiniert und müssen nicht erst selbst erstellt werden.

Die automatisierte Klassifikation der Verkehrswegemuster erfolgt anhand verschiedener form- und musterbezogener Kennzahlen und somit unabhängig von jeglichen Vorannahmen zum Verkehrswegemuster selbst, wobei beachtet werden muss, dass auch die Auswahl der form- und musterbezogenen Kennzahlen auf Annahmen darüber beruht, was ein Verkehrswegemuster auszeichnet. Es stellt sich hierbei die Herausforderung, geeignete form- und musterbezogene Kennzahlen zu finden, welche die Verkehrswegemuster möglichst vielseitig beschreiben, aber diese dennoch zu sinnvollen, interpretierbaren Kategorien zusammenfassen – insbesondere, da es bisher kaum vergleichbare Studien gibt, deren methodische Vorgangsweise übernommen werden könnte.

Darauf aufbauend soll am Beispiel der Stadt Wien gezielt herausgefunden werden, welche der dadurch ausgearbeiteten Verkehrswegemuster die Verkehrssicherheit für welche Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer auf beste Weise fördern und ob bei bestimmten Verkehrswegemustern ein höheres oder geringeres Verkehrsunfallrisiko vorliegt als bei anderen.

Die zentrale Fragestellung, die im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden soll, lautet:

- I. Gibt es einen signifikanten Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko in Wien?

Aus dieser Hauptfragestellung heraus ergeben sich folgende abgeleitete Fragestellungen:

- II. Falls ein solcher Einfluss besteht, welche Verkehrswegemuster können in diesem Zusammenhang als besonders sicher bzw. unsicher bewertet werden?
- III. Welchen Einfluss hat das Verkehrswegemuster auf die anteilmäßige Beteiligung der beiden Geschlechter an Verkehrsunfällen?
- IV. Welchen Einfluss hat das Verkehrswegemuster auf die anteilmäßige Beteiligung der verschiedenen Verkehrsmittel an Verkehrsunfällen?
- V. Falls die beschriebenen Einflüsse bestehen, welche Erklärungen können dafür gefunden werden?

Während die Fragestellungen I. - IV. unmittelbar aus der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analyse beantwortet werden können, kann die Fragestellung V. nur unter Zuhilfenahme von Fachliteratur beantwortet werden. Hierzu ist es von Bedeutung, die die Verkehrssicherheit beeinflussenden Faktoren zu kennen, welche über reine bauliche Maßnahmen hinausgehen. Teilweise kann diese Frage nur unter Zuhilfenahme verkehrspsychologischer Theorien erklärt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden lediglich Unfälle mit Personenschaden berücksichtigt, also Unfälle mit verletzten oder getöteten Personen, welche in Österreich meldepflichtig und damit – zumindest theoretisch – vollständig statistisch erfasst sind. Wenn in dieser Arbeit also von Verkehrsunfällen die Rede ist, so sind - falls nicht explizit anders angegeben - stets Verkehrsunfälle mit Personenschaden gemeint.

Untersucht wird nicht die absolute Zahl von Verkehrsunfällen, welche stark vom Verkehrsaufkommen beeinflusst wird, sondern das Verkehrsunfallrisiko, also die Anzahl der Unfälle in Relation zum Verkehrsaufkommen.

Im Folgenden soll die Gliederung dieser Arbeit kurz skizziert werden.

In Kapitel 2 wird erläutert, auf welche Weise Form- und Musteranalysen mit Geoinformationssystemen in Abhängigkeit von der jeweiligen Geometrieart (Punkte, Linien und Polygone) durchgeführt werden können. Insbesondere wird auch auf den multivariaten strukturellen Ansatz, eine Kombination aus Faktoranalyse und Clusteranalyse zur Mustererkennung, eingegangen.

Kapitel 3 beschreibt die historische Entwicklung sowie die Gestaltungs- und Klassifikationsmöglichkeiten von Verkehrswegemustern, um diese mit den Ergebnissen der automatisierten Klassifikation vergleichen bzw. deren Ergebnisse entsprechend zuordnen zu können.

Kapitel 4 betrachtet die Einflussfaktoren und Charakteristiken des Verkehrsunfallgeschehens, die benötigt werden, um Erklärungen für mögliche Einflüsse des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko geben zu können. Insbesondere wird in diesem Kapitel auch auf den bisherigen Forschungsstand über den Zusammenhang zwischen Verkehrswegemuster und Verkehrsunfallrisiko eingegangen und es werden Charakteristiken der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Verkehrsunfällen beschrieben.

Kapitel 5 beschreibt die Methodik der Analyse. Diese umfasst die Beschreibung des Untersuchungsgebiets und die Realisierung räumlicher Bezugsflächen, die Darlegung der Datengrundlagen sowie deren manuelle Aufbereitung, die automatisierte Aufbereitung und Klassifizierung der Verkehrswegemuster, die automatisierte Ermittlung des Verkehrsunfallrisikos sowie die abschließende Berechnung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko.

Die Ergebnisse werden in Kapitel 6 beschrieben und interpretiert. Insbesondere wird auf die Ergebnisse der automatisierten Klassifizierung eingegangen, auf die Ergebnisse zur Bestimmung des Verkehrsaufkommens und des Verkehrsunfallrisikos, sowie auf die Hauptergebnisse des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko im Allgemeinen sowie getrennt nach den beiden Geschlechtern und den verschiedenen Verkehrsmitteln.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst, Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet und im Rahmen eines Ausblicks aufgezeigt, welche Punkte im Rahmen dieser Arbeit noch nicht abgedeckt wurden und welcher Forschungsbedarf weiterhin besteht bzw. durch die Arbeit aufgezeigt wurde.

2 Form- und Musteranalyse in der Geoinformation

In diesem Kapitel wird die Anwendung von Form- und Musteranalysen in der Geoinformation beschrieben, welche je nach Geometrietyp (Punkt, Linie und Fläche) sehr unterschiedlich abläuft. Dazu wird zuerst grundlegend auf die räumliche Analyse eingegangen, welche das Gerüst für die weiteren Ausführungen bildet. Anschließend wird erläutert, welche Möglichkeiten ein GIS zur Durchführung von räumlichen Analysen bietet. In den folgenden beiden Unterkapiteln wird die Form- und Musteranalyse bei Punkt-, Linien- und Polygoneometrien behandelt. Das abschließende Unterkapitel geht auf die Bedeutung des multivariaten, strukturellen Ansatzes in der Form- und Musteranalyse ein.

In dieser Arbeit soll klar zwischen den Begriffen Form und Muster unterschieden werden. Während die Form das geometrische und topologische Erscheinungsbild eines einzelnen Objekts beschreibt, beschreibt das Muster das geometrische und topologische Erscheinungsbild und Zusammenwirken mehrerer Objekte.

Die ersten Arbeiten zur Form- und Musteranalyse wurden in den 1980er-Jahren von Landschaftsökologinnen und Landschaftsökologen verfasst (vgl. ALBRECHT 2007: 71). Räumliche Muster werden als Ergebnis von Prozessen gesehen, wobei diese Prozesse selten deterministisch, sondern meist probabilistisch ablaufen. Allerdings handelt es sich auch selten um reine Zufallsprozesse (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 93-118).

2.1 Grundlagen der räumlichen Analyse

Allgemein betrachtet beschäftigen sich räumliche Analysen mit jenen Mustern, die aus Prozessen resultieren, welche sich im Raum abspielen. Sie interessieren sich insbesondere für die Repräsentation, das Beschreiben, das Messen, den Vergleich und das Erzeugen solcher Muster (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 4). Laut FAZAL (vgl. 2008: 226) zeichnen sich räumliche Analysen im Gegensatz zu anderen Analysen dadurch aus, dass ihre Ergebnisse nicht unverändert bleiben, wenn sich die räumliche Position der analysierten Objekte ändert.

In der Geographie erlangte die räumliche Analyse durch die sogenannte quantitative Revolution in den 1950er- und 1960er-Jahren größere Bedeutung (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 41). Sie ist eng verwandt mit anderen Ansätzen wie der räumlichen Datenmanipulation, der räumlichen Datenanalyse, der räumlichen Statistik, des räumlichen Modellierens und der räumlichen Informationsanalyse, die oft fließend ineinander übergehen und im Rahmen dieser Arbeit unter dem Begriff „räumliche Analyse“ zusammengefasst werden (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 2f).

2.1.1 Zwei Perspektiven der räumlichen Analyse

Im Rahmen der räumlichen Analyse werden zwei grundlegende theoretische Perspektiven unterschieden. Auf der einen Seite gibt es die objektorientierte Perspektive, welche die Welt als eine Menge realer Entitäten versteht, welche sich an einer bestimmten Position im Raum befinden. Diese müssen identifizierbar, relevant und beschreibbar sein. Objekte sind die digitale Repräsentation dieser Entitäten in einer Datenbank, und können Punkte-, Linien-

und Flächenobjekte sein. Um die Objekte zuordnen zu können, sind Attribute notwendig. Objekte weisen jeweils ein spezifisches Verhalten auf, welches ihre Veränderungen über die Zeit beschreibt (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 6ff).

Im Gegensatz dazu gibt es die feldorientierte Perspektive, welche die Erdoberfläche als kontinuierliche Felder bestimmter Variablen sieht. Sie brauchen im Gegensatz zu Objekten keine zusätzlichen Attribute, da sie bereits durch ihren Wert (z.B. Grauwert eines Pixels) zugeordnet werden können – man spricht in diesem Zusammenhang auch von Selbstdefinition. Neben bekannten Anwendungsbereichen kontinuierlicher Felder, wie beispielsweise die Darstellung der Lufttemperatur oder Landnutzungskarten, kann auch jedes andere Phänomen mit dieser Methode beschrieben werden. Beispielsweise kann eine Stadt mit einem Raster beschrieben werden, welcher die Pixelwerte 1 für „Straße“ und 0 für „keine Straße“ kennt. Damit erhält jeder Ort für jede Variable einen Wert. Neben Rastern können kontinuierliche Felder beispielsweise auch vektorbasiert dargestellt werden, etwa mit Triangulated Irregular Networks (TINs) oder Isolinien (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 6).

2.1.2 Anwendungsmöglichkeiten der räumlichen Analyse

Das Interesse an der räumlichen Analyse ist in den letzten Jahren stark gestiegen und sie wird heute in sehr unterschiedlichen Disziplinen angewandt – von der Geologie und Ökologie bis hin zu Wirtschafts-, Sozial- und Planungswissenschaften (vgl. FISCHER UND GETIS 2010: 1). Die räumliche Analyse ist vorwiegend anwendungsorientiert und ihr wird oft eine mangelnde theoretische Fundierung unterstellt. Im Allgemeinen sind die Methoden der räumlichen Datenanalyse jedoch anwendungsunabhängig, sodass jede Methode von jeder Disziplin genutzt werden kann – auch wenn es bestimmte bevorzugte Daten und Methoden gibt. So spielen für die Verkehrsplanung etwa Netzwerkdaten eine bedeutende Rolle. Die Grundlagen für räumliche Datenanalysen stammen insbesondere aus den Feldern der Mathematik, der Statistik und der Ökonometrie (vgl. FISCHER UND GETIS 2010: 2).

Räumliche Daten können im Gegensatz zu anderen Daten nicht nur in Bezug auf klassische statistische Merkmale beschrieben werden (Mittelwert, Median, etc.), sondern auch in Bezug auf ihre räumliche Verteilung, wozu es verschiedene Maße gibt, welche von den Beziehungen zwischen den Entitäten abhängen. Diese Maße sind insbesondere Distanz (Luftlinie oder Routenlänge/-dauer in einem bestimmten Netzwerk), Nähe (binär gemessene Distanz nach bestimmtem Kriterium: nah oder nicht nah), Interaktion (üblicherweise mit einem zur Distanz inversen und inhaltlich gewichteten Maß gemessen) und Nachbarschaft (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 41ff).

Diese zusätzlichen Analysemöglichkeiten räumlicher Daten bringen aber auch Herausforderungen mit sich. Sie können mit den Standardmethoden der Statistik nicht genauso analysiert werden wie Daten ohne räumlichen Bezug, wenn ihr räumlicher Aspekt berücksichtigt werden soll, was mehrere Gründe hat.

Erstens werden in der Statistik oft zufallsverteilte Daten gefordert, was aber bei räumlichen Daten de facto nie der Fall ist. Der Grund hierfür wird räumliche Autokorrelation genannt, wonach sich nahegelegene Daten tendenziell ähnlich sind – man denke etwa an die Seehöhe, die Bevölkerungsdichte, die Lufttemperatur oder auch Verkehrsunfallereignisse, welche nie

die Anforderung einer Zufallsverteilung erfüllen. Andererseits wird das Betreiben von räumlichen Analysen erst durch dieses Vorhandensein von räumlichen Mustern möglich (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 34f; ALBRECHT 2007: 70).

Ein weiterer Grund ist der sogenannte ökologische Fehlschluss. Dieser beschreibt den unzulässigen Schluss von einem Zusammenhang auf einer bestimmten Maßstabsebene auf einen Zusammenhang auf individueller Ebene. Beispielsweise wäre es unzulässig, von einem Zusammenhang zwischen Verkehrsnetzgeometrie und Verkehrsunfallzahlen auf einen unmittelbaren Zusammenhang auf individueller Ebene zu schließen, wonach eine Person bei Vorliegen einer bestimmten Verkehrsnetzgeometrie mit höherer oder geringerer Wahrscheinlichkeit in einen Unfall verwickelt wird (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 39).

Problematisch können auch Randeffekte sein, wonach Phänomene am Rand infolge einer künstlichen Abgrenzung des Untersuchungsgebiets weniger Verbindungen aufweisen als solche im Zentrum des Untersuchungsgebiets, da ein Teil von diesen außerhalb des Untersuchungsgebiets liegen kann und daher nicht berücksichtigt wird (vgl. Abbildung 1). Daher muss den Randeffekten in Analysen stets Rechnung getragen werden (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 40f).

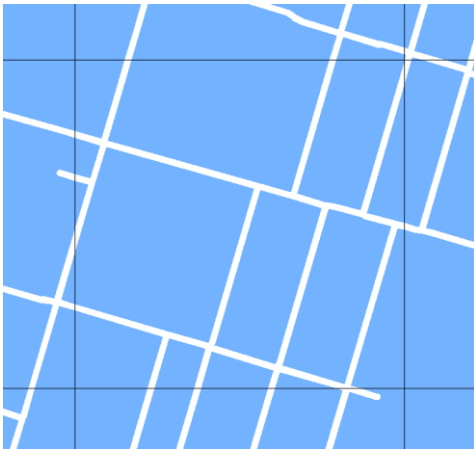


Abbildung 1: Einfaches Beispiel für die Wirkungsweise von Randeffekten: Bei der Berechnung der durchschnittlichen Blockfläche innerhalb der Rasterzelle muss berücksichtigt werden, dass sich die Blöcke am Rand der Rasterzelle nur teilweise innerhalb dieser befinden (Eigene Erstellung)

Es muss auch der Unterschied zwischen korrelierenden Variablen und interagierenden Variablen beachtet werden, da eine räumliche Korrelation nicht zwingend eine Folge aus einer Interaktion der Variablen ist. Arthur Getis, der als einer der einflussreichsten Experten auf dem Gebiet der räumlichen Analyse gilt, hat versucht, räumliche Korrelationsmodelle und räumliche Interaktionsmodelle zu vereinen, indem er Letztere als Spezialfall von Ersteren interpretierte (vgl. GETIS 1991: 23).

2.2 Die Rolle von Geoinformationssystemen bei der räumlichen Analyse

Ein GIS kann definiert werden als „System zur Erfassung, Speicherung, Prüfung, Integration, Manipulation, Analyse und Visualisierung von Daten, welche einen räumlichen Bezug zur Erde aufweisen. Ein solches steht üblicherweise in Verbindung mit einer Datenbank, welche ein räumliches Bezugssystem aufweist, sowie mit entsprechender Anwendungssoftware“ (übersetzt nach FAZAL 2008: 7). Geoinformationssysteme spielen eine bedeutende Rolle in der räumlichen Analyse, da erst sie die Bewältigung großer räumlicher Datenmengen möglich machten.

Schon analoge Karten haben es ermöglicht, große Mengen an Informationen über unsere räumliche Umwelt zu speichern und zu sammeln. Bereits in den vergangenen Jahrhunderten konnten darauf aufbauend einfache räumliche Analysen durchgeführt werden, wie etwa jene von John Snow von 1854, welcher auf diese Weise den Krankheitsherd der Londoner Choleraepidemie identifizieren konnte (vgl. KOCH und DENIKE 2009).

Mit dem Aufkommen der Computertechnologie haben sich diese Möglichkeiten vervielfacht. Die Datenmengen, die Informationen über unsere räumliche Umwelt speichern, wachsen rasant an und werden durch das Internet zunehmend allgemein zugänglich. Auch können durch die zunehmende Leistungsfähigkeit der Computerhardware immer komplexere Analysen in kürzerer Zeit bewältigt werden. Obwohl bei Aufkommen der ersten kommerziellen Geoinformationssysteme in den 1970er-Jahren deren Hauptaufgabe anfangs vorwiegend die Geodatenstorage, -verwaltung und -visualisierung und weniger die räumliche Analyse war (vgl. FOTHERINGHAM und ROGERSON 1994: 3), kamen erst im Laufe der letzten Jahrzehnte zunehmend räumliche Analysewerkzeuge hinzu (vgl. FAZAL 2008: 5).

Bei der Verwendung eines GIS zur Durchführung räumlicher Analysen muss allerdings beachtet werden, dass hier Objekte nur auf eine bestimmte Weise repräsentiert werden können und je nach Repräsentationsart unterschiedliche Ergebnisse resultieren können. Beispielsweise kann eine Stadt als Punkt, als Fläche, als Feld oder - bei Vorliegen eines größeren Maßstabs - als Kombination von Punkten, Linien, Flächen und/oder Feldern dargestellt werden, was sehr unterschiedliche Ergebnisse von räumlichen Analysen zur Folge haben kann. Dieses Phänomen wird als Multiples Repräsentationsproblem bezeichnet (vgl. O’SULLIVAN und UNWIN 2010: 12).

Nach FAZAL (vgl. 2008: 230-255) gibt es sechs verschiedene Grundtypen räumlicher Analysen mittels GIS.

1. Räumliche Abfragen
2. Messungen (Flächen, Längen, Richtungen, Relationen, Formen, etc.)
3. Transformationen (nach geometrischen, arithmetischen oder logischen Regeln: Puffer, Überlagerungen, Punkte, Linien und Polygone ineinander umwandeln, etc.)
4. Deskriptive Zusammenfassungen (Räumliche Datensätze mittels Kennzahlen beschreiben)
5. Optimierungstechniken (Ideale Lösungen für räumliche Optimierungsprobleme finden)

6. Hypothesen testen (Hypothesen anhand einer Stichprobe überprüfen, um Aussagen über die Grundgesamtheit treffen zu können)

Ein GIS verfügt häufig über bereits vorgefertigte Funktionalitäten zur Musteranalyse. So verfügt beispielsweise ArcMap in seiner „Spatial Statistics“ Toolbox über das „Analyzing Pattern“-Toolset, in welcher die Tools „Average Nearest Neighbor“, „High/Low Clustering (Getis-Ord General G)“, „Incremental Spatial Autocorrelation“, „Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripleys K Function)“ sowie „Spatial Autocorrelation (Morans I)“ zur Verfügung stehen.

Meine Arbeit beschäftigt sich insbesondere mit Messungen von geometrischen und topologischen Eigenschaften einzelner Objekte (Form) und deren Zusammenspiel (Muster), durch welche form- und musterbezogene Kennzahlen abgeleitet werden können. Wie solche Analysen bei den einzelnen Geometrietypen (Punkte, Linien und Flächen) im Detail aussehen, ist Inhalt der folgenden Unterkapitel.

2.3 Musteranalyse bei Punktgeometrien

Wenn in der Geoinformation räumliche Muster analysiert werden, handelt es sich dabei häufig um Punktmuster, wie etwa das Muster von Verkehrsunfallereignissen. Punkte haben dagegen keine Form, d. h. einzelne Punkte unterscheiden sich in ihren geometrischen und topologischen Eigenschaften nicht voneinander. Dabei ist zu beachten, dass sich die Objekte, welche durch die Punkte dargestellt werden, sehr wohl in ihrer Form unterscheiden können. Dadurch, dass diese aber als Punkte im Datensatz vorliegen, geht diese Information allerdings verloren.

Bei der Analyse von Punktmustern ist zu beachten, dass es sich bei den Daten um keine Stichprobe handeln sollte, sondern um einen vollständigen Datensatz, da die Muster sonst verzerrt wiedergegeben werden könnten. Außerdem sollte die Bestimmung der Orte präzise erfolgen und nicht nur geschätzt werden (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 123).

Bei der quantitativen Beschreibung von Punktmustern steht die Messung der Punktdichte und damit die Intensität der Vorkommnisse, gemessen in Ereignissen pro Flächeneinheit, im Vordergrund. Zwei Faktoren können dazu führen, dass Punktmuster nicht zufällig verteilt sind, sondern geclustert vorliegen. Einerseits können in manchen Gebieten aufgrund bestimmter, dort herrschender Faktoren mehr von den jeweiligen Ereignissen passieren als in anderen Gebieten, wenn beispielsweise eine bestimmte Pflanzenart gehäuft an Orten mit einer bestimmten Bodenart vorkommt. Es wird hier auch von Effekten 1. Ordnung gesprochen (vgl. Abbildung 2; links). Auf der anderen Seite gibt es Effekte 2. Ordnung, welche Wechselwirkungen zwischen den Ereignissen beschreiben – hierbei wird die Position eines Punktes durch die Position der übrigen Punkte beeinflusst (vgl. Abbildung 2; rechts). Ein Beispiel wäre etwa das Vorkommen von Individuen einer Tierart, welche in Herden unterwegs sind. Alleine anhand des räumlichen Musters ist es nicht möglich, Effekte 1. Ordnung und Effekte 2. Ordnung voneinander zu unterscheiden, weshalb weitere Analysen notwendig sind (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 107f, 124).

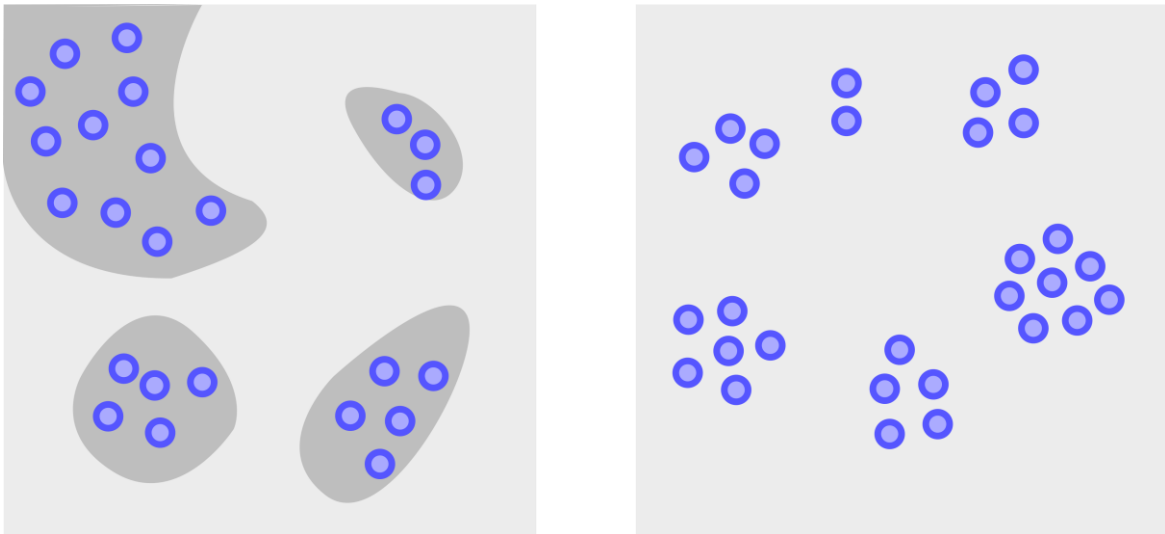


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung von Effekten 1. Ordnung (links) und Effekten 2. Ordnung (rechts) (Eigene Erstellung)

Traditionelle Maße zur Bestimmung von Punktmustern, wie etwa das Nearest-Neighbour-Verfahren, berücksichtigen ausschließlich Effekte 1. Ordnung. Um auch Effekte 2. Ordnung zu berücksichtigen, müssen die Distanzen zwischen allen Punktpaaren berechnet werden, um so eine Verteilungsfunktion aller Punktentfernungen zu erhalten. Die Analyse von Effekten 2. Ordnung setzt Stationarität der Daten voraus (vgl. GETIS 2007: 84). Damit ist gemeint, dass sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Ereignis in einem bestimmten Gebiet stattfindet, also die Intensität, über die Zeit nicht ändert. Diese kann sowohl für Effekte 1. Ordnung, als auch für Effekte 2. Ordnung bestimmt werden (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 107f).

Eine Herausforderung bei der Bestimmung von Mustern ergibt sich durch die Wahl der räumlichen Bezugsflächen, anhand derer die Daten aggregiert werden. Analyseergebnisse können dabei oft stark von der Wahl und Beschaffenheit der zugrunde gelegten Bezugsflächen abhängig sein, was als Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) bezeichnet wird. OPENSHAW UND TAYLOR (1979) haben beispielsweise gezeigt, dass man mit einem bestimmten Datensatz jeden beliebigen Korrelationskoeffizienten zwischen -1 und 1 herausbekommen kann (vgl. Abbildung 3, wenn nur die räumliche Bezugsbasis entsprechend gewählt wird (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 36f, 188f).

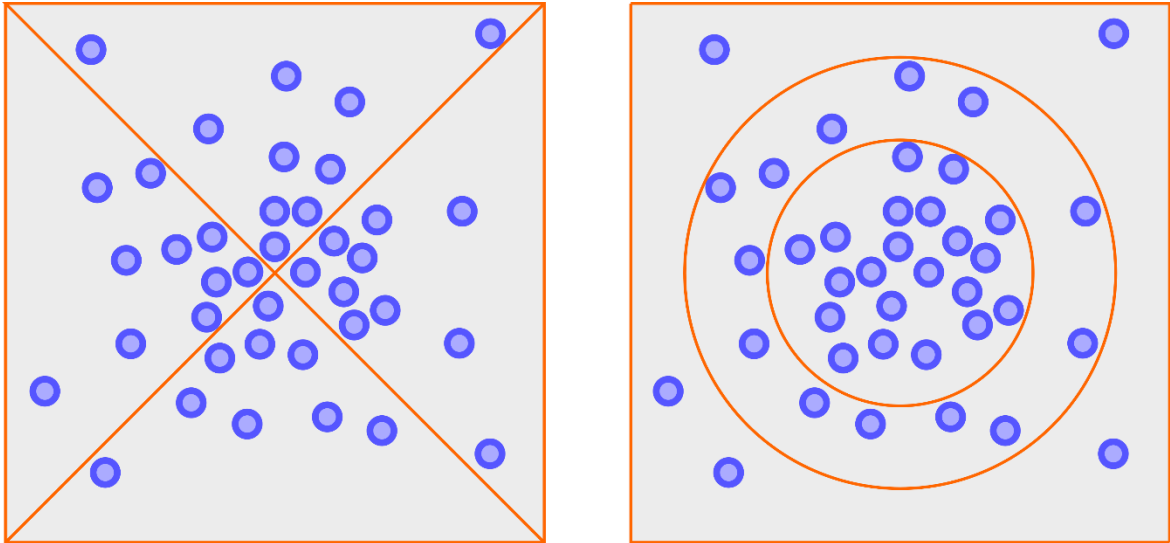


Abbildung 3: Veranschaulichung des Modifiable Areal Unit Problems (MAUP): Je nach Wahl der räumlichen Bezugsflächen lässt sich mit denselben Punktdaten sowohl eine absolute Gleichverteilung (links), als auch stark ungleiche Verteilung der Punkte auf die einzelnen Flächen erreichen (Eigene Erstellung)

2.4 Form- und Musteranalyse bei Linien- und Polygoneometrien

Linien- und Polygoneometrien weisen im Gegensatz zu Punktgeometrien eine Form auf, d. h. Einzelobjekte unterscheiden sich in geometrischer und topologischer Hinsicht voneinander. Jede Linie hat eine bestimmte Länge, eine Richtung und - wenn ein Netzwerk vorliegt - auch eine bestimmte Konnektivität, sowie weitere geometrische und topologische Eigenschaften.

Handelt es sich bei den Polygonen um reale Objekte, so spricht man von natürlichen Flächen. Bei solchen sind die Objektgrenzen durch das Objekt selbst definiert, wobei die Grenze mehr oder weniger scharf sein kann. Dagegen sind die konventionalen Flächen eine Folge von Vereinbarungen, wie etwa administrative Grenzen oder die Unterteilung eines Untersuchungsgebiets in räumliche Bezugsflächen (vgl. O'SULLIVAN UND UNWIN 2010: 36f, 188f).

2.4.1 Form von Polygoneometrien

Die Form einer Linie oder eines Polygons meint eine Menge an Beziehungen der relativen Positionen zwischen den Einzelpunkten und deren Parameter, welche durch Reskalierungen nicht verändert werden. Traditionell werden Formen ausschließlich verbal beschrieben (z.B. S-förmig, langgezogen, etc.). In den letzten Jahrzehnten gab es zunehmend Versuche, die Beschreibung von Formen zu quantifizieren. Viele davon bauen auf den Vergleich der Form mit jener eines regelmäßigen geometrischen Objekts auf, wie etwa einem Kreis oder einem Vieleck. Eine der so berechneten Kennzahlen ist die Kompaktheit, welche das Verhältnis

zwischen der Fläche der Form und der Fläche eines Kreises mit demselben Durchmesser angibt. Der Radial Line Index vergleicht die durchschnittliche Länge von Strahlen, die vom Zentrum der Form gleichmäßig in alle Richtungen verlaufen, mit dem Radius eines flächengleichen Kreises (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 195ff).

2.4.2 Muster von Polygoneometrien

In vielen Fällen ist nicht die Form einer Einzelfläche von Interesse, sondern die Muster, die sich aus der Kombination mehrerer benachbarter Polygone ergeben, wie dies auch beim Muster der durch Verkehrswege begrenzten Blöcke der Fall ist. Eine Möglichkeit, diese Muster zu erfassen, ist die sogenannte Kontaktzahl, welche angibt, wie viele Flächen sich eine gemeinsame Grenze teilen (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 197f). Dabei handelt es sich um eine topologische Kennzahl.

Eine weitere Kennzahl, die speziell für Verkehrswegenetze entwickelt wurde, ist jene der Konnektivität. Diese kann etwa durch Bestimmung des Abstandes zwischen den Verkehrswegen gemessen werden, über die Menge an Kreuzungen, in welche vier oder mehr Verkehrswegsegmente münden, oder durch Vergleich der Netzwerkdistanz („kürzeste Route“) mit oft unterschiedlichen Werten für unterschiedliche Verkehrsmittel, zur euklidischen Distanz („Luftlinie“) (THORNTON ET AL. 2011: 5f).

Die Regelmäßigkeit eines Flächenmusters kann quantitativ erfasst werden, indem die Kennzahlen des gegebenen Musters mit den Kennzahlen eines zufällig erstellten Flächenmusters verglichen werden (vgl. O’SULLIVAN UND UNWIN 2010: 199). Wenn etwa die form- und musterbezogenen Kennzahlen eines Verkehrswegemusters ähnlich verteilt sind wie jene eines zufälligen Musters, kann daraus abgeleitet werden, dass dieses nicht regelmäßig ist. Allerdings ergibt sich dabei die Herausforderung, ein solches zufälliges Flächenmuster zu erstellen. Eine andere Möglichkeit, welche im Rahmen dieser Untersuchung angewendet wird, ist die Betrachtung der Standardabweichungen der Kennzahlen als Regelmäßigkeitsmaß.

2.5 Form- und Musterklassifizierung mittels multivariatem strukturellem Ansatz

Sollen verschiedene form- und musterbezogene Kennzahlen berücksichtigt werden, um verschiedene Typen von Formen oder Mustern zu klassifizieren, müssen diese auf eine bestimmte Weise zusammengefasst werden, um die einzelnen Mustertypen zu bilden. Hierzu eignet sich insbesondere eine Kombination aus Faktoren- und Clusteranalyse, wie sie auch im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt wird. Die Faktoren- bzw. Korrespondenzanalyse dient dazu, nur Dimensionen zu berücksichtigen, welche viele Informationen über die Beziehungen der Variablen enthalten und nicht relevante Dimensionen zu eliminieren. Die anschließende Clusteranalyse dient der Klassifikation der verbleibenden Dimensionen. Diese zweistufige Vorgangsweise wird auch multivariater struktureller Ansatz genannt (vgl. YU-SHENG und YING-CHIH 2000: 7).

Die beiden Analysearten erfüllen dabei jeweils bestimmte Funktionen, welche die jeweils andere Analyseart nicht bieten kann. Eine Clusteranalyse alleine würde alle Variablen gleich

behandeln und gewichten, unabhängig von ihrem Informationsgehalt, was abhängig von der Wahl der Variablen zu einer entsprechenden Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Außerdem sind die Ergebnisse der Klassifizierung dadurch schwerer zu interpretieren. Dagegen kann eine Faktorenanalyse alleine lediglich relevante Dimensionen berechnen und keine räumlichen Muster bestimmen. Die Faktorenanalyse basiert auf der Annahme einer homogenen Verteilung der Dimensionen über alle räumlichen Bezugsflächen (vgl. YU-SHENG und YING-CHIH 2000: 6f).

2.5.1 Grundlagen der Faktorenanalyse

Der Begriff Faktorenanalyse beschreibt eine Vielzahl an Verfahren, welche das Ziel haben, eine große Menge an Variablen auf eine möglichst geringe Anzahl an nicht messbaren oder nicht beobachteten („latenten“) Konstrukten abzubilden, die sogenannten Faktoren. Der am häufigsten angewandte Typ von Faktorenanalysen ist der R-Typ, welcher Korrelationen zwischen Variablen bestimmt, um darauf aufbauend die Hauptdimensionen zu berechnen (vgl. SCHENDERA 2010: 179f).

Eine Faktorenanalyse besteht im Allgemeinen aus drei Hauptschritten – der Erstellung einer Variablenmatrix, einer Faktorextraktion und einer Lösungsrotation. Die Variablenmatrix bestimmt die Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen, wobei Variablen mit hohen Korrelationen im zweiten Schritt zu Faktoren zusammengefasst werden. Hierbei ist das Ziel, dass die extrahierten Faktoren einen möglichst hohen Anteil an der Varianz erklären können – man spricht hierbei auch vom Eigenwert der Faktoren, und dass die Variablen in einem bestimmten Ausmaß auf die einzelnen Faktoren laden. Die Lösungsrotation dient schließlich dazu, die Struktur der Ladungen insofern zu ändern, dass die Faktoren besser und eindeutiger interpretiert werden können (vgl. SCHENDERA 2010: 183f).

Die wichtigsten beiden faktoranalytischen Verfahren sind die Hauptkomponentenanalyse sowie die Hauptachsen-Faktorenanalyse. Während die Hauptkomponentenanalyse die maximale Erklärung der Varianz durch möglichst wenige Faktoren zum Ziel hat, zielt die Hauptachsen-Faktorenanalyse auf die maximale Aufklärung der Korrelation zwischen den Variablen durch die Faktoren ab (vgl. SCHENDERA 2010: 190). Bei der Hauptkomponentenanalyse stehen die einzelnen Komponenten orthogonal aufeinander, weshalb sie linear unabhängig sind und keine Rotation mehr erforderlich ist. Zur Bestimmung des ersten Faktors wird jene Linearkombination an Variablen herangezogen, welche eine möglichst hohe Varianz erklärt. Die übrigen Faktoren sollen anschließend jeweils einen möglichst hohen Anteil der verbleibenden Varianz erklären, bis diese vollständig erklärt ist (vgl. SCHENDERA 2010: 194f). Die Hauptachsen-Faktorenanalyse versucht im Gegensatz dazu, nur den Teil der Varianz der Variablen zu klären, welcher durch die übrigen Variablen bestimmt wird. Die Lösung ist damit fehlerfrei und enthält weder Einzelvarianz noch Fehlervarianz (vgl. SCHENDERA 2010: 193f).

2.5.2 Grundlagen der Clusteranalyse

Clusteranalysen dienen im Allgemeinen dazu, Objekte durch empirische Klassifikation in homogene Gruppen einzuteilen. Je nachdem, ob Objekte oder Variablen klassifiziert werden, wird zwischen objekt- und variablenbasierter Clusteranalyse unterschieden. Ziel ist

eine hohe Homogenität innerhalb eines Clusters und eine hohe Heterogenität zwischen unterschiedlichen Clustern. Außerdem soll die Klassifikation die Variation innerhalb der Daten möglichst gut erklären und inhaltlich sinnvoll interpretierbar sein. Dazu trägt insbesondere auch eine überschaubare Anzahl an Clustern sowie eine gewisse Mindestgröße bei (vgl. BACHER ET AL. 2011³: 15-18).

BACHER ET AL. (vgl. 2011³: 19ff) unterscheiden drei große Familien der Clusteranalyse – die unvollständige Clusteranalyse, die ausschließlich graphisch erfolgt, und bei welcher die Anwenderin oder der Anwender die Klassifizierung selbst vornehmen muss; die probabilistische Clusteranalyse, bei welcher ein Objekt jedem Cluster mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zugeordnet wird; sowie die deterministische Clusteranalyse, bei welcher jedes Objekt eindeutig einer Klasse zugeordnet wird. Letztere lässt sich wiederum einteilen in hierarchisch-agglomerative Verfahren, bei denen einzelne Objekte zu kleinsten Clustern und diese zu zunehmend größeren Clustern zusammengefasst werden; in diversive Verfahren, bei denen von einem einzigen Cluster ausgegangen wird, der schrittweise geteilt wird; sowie die partitionierenden Verfahren, bei denen die Objekte den Clustern nach bestimmten Kriterien zugeordnet werden.

Weiters kann man Clusteranalysen danach klassifizieren, ob ihnen ein Wahrscheinlichkeitsmodell zu Grunde liegt oder nicht (modellbasiert vs. heuristisch). Eine weitere Unterscheidung besteht zwischen konfirmatorischen Clusteranalysen, bei denen Anzahl und Merkmale der Cluster im Vorhinein bekannt sind, und explorativen Clusteranalysen, bei denen dies nicht der Fall ist. Der Vorteil der explorativen Clusteranalyse ist eine optimale Anpassung an die Daten, während sie den Nachteil hat, dass die Cluster eventuell schwieriger zu interpretieren sind. Außerdem werden überlappungsfreie Clusteranalysen, bei denen jedes Objekt einer Klasse zugeordnet wird, sowie überlappende Clusteranalysen, bei dem ein Objekt mehreren Klassen zugeordnet werden kann, unterschieden (vgl. BACHER ET AL. 2011³: 21ff; 147).

Bei den deterministischen Verfahren stehen vier grundsätzliche Verfahrenstypen zur Verfügung: Nearest-Neighbour-Verfahren, Mittelwertmodelle sowie Repräsentantenverfahren mit Klassifikationsobjekten oder Clusterzentren als Repräsentanten (vgl. BACHER ET AL. 2011³: 21ff; 148f). Als Verfahren mit Clusterzentren als Repräsentanten wird im Folgenden kurz auf das K-Means-Verfahren sowie auf das Ward-Verfahren eingegangen, die zu den bedeutendsten clusteranalytischen Verfahren zählen.

Die-K-Means-Clusteranalyse berechnet zu Beginn die erwartete Anzahl an Cluster, und für jeden Cluster den erwarteten Mittelwert. Ziel ist dabei die Minimierung der Streuungsquadratsumme um den jeweiligen Mittelwert. Diese Art der Clusteranalyse wird deswegen häufig eingesetzt, weil sie die wahre Gruppierung der Daten sehr gut wiedergeben kann, wenn ein nicht-zufälliger Ausgangspunkt vorgegeben wird (vgl. YU-SHENG und YING-CHIH 2000: 9; BACHER ET AL. 2011³: 21ff; 299).

Das Ward-Verfahren verwendet das jeweilige Clusterzentrum als Repräsentanten eines Clusters, wobei das Clusterzentrum den Mittelwert der Objekte des Clusters darstellt. Als hierarchisches Verfahren betrachtet es zu Beginn jedes Objekt als eigenen Cluster und verschmilzt anschließend jene zwei Cluster, bei denen die Streuungsquadratsumme am geringsten erhöht wird. Anschließend wird ein neues Clusterzentrum für den jeweiligen

Cluster berechnet, indem das arithmetische Mittel für jede Variable gebildet wird. Das Wards-Verfahren braucht im Gegensatz zum K-Means-Verfahren keinen vorgegebenen Ausgangspunkt. Weitere Vorteile des Ward-Verfahrens sind, dass das Verschmelzungsschema klar interpretierbar ist, Inversionen vermieden werden und es eine hierarchische Darstellung liefert (vgl. BACHER ET AL. 2011³: 285).

2.5.3 Untersuchungen mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes

YU-SHENG UND YING-CHIH (vgl. 2000) führten eine Studie durch, in welcher sie den multivariaten strukturellen Ansatz nutzten, um die Zusammenhänge zwischen Wohnumfeld und Gesundheit der Bevölkerung in Taiwan zu analysieren. Die Faktorenanalyse wurde in Form einer Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Promax-Rotation durchgeführt, wobei Dimensionen mit einem Eigenwert > 1 für die anschließende Clusteranalyse verwendet wurden. Hier wurde zuerst der Ward-Algorithmus angewandt, der keinen Ausgangspunkt voraussetzt, und dessen Ergebnisse wiederum als Ausgangspunkt für eine K-Means-Clusteranalyse dienten, mit welchem die finale Klassifizierung durchgeführt wurde.

In einer thematisch verwandten Studie von CHARREIRE ET AL. (vgl. 2012) wurde zuerst mithilfe einer Multiplen Korrespondenzanalyse (MCA) und einer Clusteranalyse das Muster von drei Umgebungskennzahlen (Grünflächenanteil, Erreichbarkeit von Einrichtungen in der Umgebung und Vorhandensein von Radwegen) für alle Zählsprenkel in der Ile-de-France ermittelt. In einem zweiten Schritt wurde dieses Muster in Zusammenhang mit dem durchschnittlichen Body-Mass-Index der Bevölkerung sowie mit der Zeit, die die Bewohnerinnen und Bewohner im Tagesschnitt mit Zufußgehen und Radfahren verbringen, gesetzt. Mithilfe einer Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren wurde anschließend jeder räumlichen Bezugsfläche anhand der verbliebenen Dimensionen genau ein Mustertyp zugeordnet. Der Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Zufußgeh- und Radfahrzeit und den gebildeten Umgebungsmustern wurde mit einem multinominalen Regressionsmodell berechnet, jener zwischen Body-Mass-Index und den gebildeten Mustertypen mithilfe einer Kovarianzanalyse. Auch wenn diese Analysemethoden sowie die konkret beobachteten Muster und Merkmale andere sind, entspricht diese zweiteilige Vorgangsweise im Wesentlichen der im Rahmen dieser Arbeit angewandten Methodik.

3 Verkehrswegemuster

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Gestaltung, der historischen Entwicklung und den Klassifizierungsmöglichkeiten von städtischen Verkehrswegemustern. Das erste Unterkapitel beschäftigt sich damit, wie Verkehrswegemuster angelegt und gestaltet werden können. Das zweite Unterkapitel soll in Grundzügen die Hintergründe aufzeigen, warum zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort ein bestimmtes Verkehrswegemuster angelegt wurde. Und das dritte Unterkapitel soll einen Einblick geben, wie und nach welchen Prinzipien Verkehrswegemuster klassifiziert und benannt werden können.

Einleitend soll der Begriff des Musters vom Begriff der Morphologie abgegrenzt werden. Im Gegensatz zur Form beschreiben beide Begriffe das Zusammenwirken mehrerer Objekte (vgl. Kapitel 2). Das Gefüge einer Stadt, dass bei der Betrachtung größerer Maßstäbe erkennbar wird, wie es auch im Rahmen dieser Arbeit von Interesse ist, wird als Muster oder Struktur bezeichnet, während im Gegensatz dazu bei kleinen Maßstäben von der Morphologie die Rede ist. Morphologische Beschreibungen von Städten, die aber im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter behandelt werden, wären etwa radial angelegte Städte oder verflochtene Städte.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Muster in einer Stadt zu identifizieren. Neben den Verkehrswegen, wie sie im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden, können auch Gebäude oder Grundstücke als Grundeinheiten herangezogen werden, wobei sich, je nach Grundeinheit, völlig unterschiedliche Muster ergeben können (vgl. Abbildung 4: Vergleich zwischen Verkehrswegemuster, Grundstücksmuster und Gebäudemuster (Quelle: DING UND TONG 2011:322; Eigene Bearbeitung), bzw. der Strukturreichtum der resultierenden Muster sehr unterschiedlich ist (vgl. DING UND TONG 2011: 321). Neben dem grundrisslichen Muster können auch weitere Perspektiven zur Klassifizierung von Verkehrswegemustern herangezogen werden. So berücksichtigen DING UND TONG (vgl. 2011: 324f) neben dem Grundriss auch die dreidimensionalen Formen, wie sie von den Menschen wahrgenommen werden, wenn sie sich durch den jeweiligen Raum bewegen, in ihrer Klassifizierung.



Abbildung 4: Vergleich zwischen Verkehrswegemuster, Grundstücksmuster und Gebäudemuster (Quelle: DING UND TONG 2011:322; Eigene Bearbeitung)

3.1 Gestaltung von Verkehrswegemustern

Gesetzliche oder behördliche Vorgaben zur Gestaltung von Verkehrswegemustern gibt es keine. Es existieren lediglich Standards, wie auf einer großen Maßstabsebene einzelne Kreuzungen und Verkehrswege zu verwirklichen sind, welche Breite und Winkel sie aufweisen dürfen, welchen Abstand untereinander sie benötigen, etc. Die Komposition dieser Einzelvorgaben zu daraus resultierenden Gesamtmustern ist aber auf keine Weise reguliert - MARSHALL (2005: 27f) spricht auch von einem „kreativen Vakuum“. In der Praxis entstehen Verkehrswegemuster daher oft aus der Summe der einzelnen, die Vorgaben erfüllenden Kreuzungen und Verkehrswege. In der heutigen Zeit ergeben sich daraus oft hierarchische und baumartige Muster (vgl. MARSHALL 2005: 28f).

Ebenso eine große Rolle spielte in den letzten Jahrzehnten auch die - meist informelle - Standardisierung von Verkehrswegemustern. Und diese Standards sind, auch wenn ihre Einhaltung nicht verpflichtend ist, praktisch sehr einflussreich, wie SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH (vgl. 1995) sehr ausführlich erörtern. Investorinnen und Investoren bevorzugen Projekte, welche diese Standards einhalten, da sie diese für risikoärmer halten. Umgekehrt sind Planerinnen und Planer bzw. Unternehmerinnen und Unternehmer aus diesem Grund bemüht, diese Standards auch möglichst einzuhalten. Besonders bei der schablonenhaften Verkehrsnetzgestaltung der angloamerikanischen Suburbs (vgl. Abbildung 12) spielen diese Mechanismen eine bedeutende Rolle (vgl. SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH 2003: 4f).

Die Verkehrswegemustergestaltung befindet sich im Spannungsfeld zwischen den ingenieurtechnischen Anforderungen des Verkehrssystems sowie der Transportkapazitäten auf der einen Seite, wonach die Straße eine möglichst hohe Verkehrslast pro Zeiteinheit, zusammengesetzt aus Personen und Gütern, möglichst sicher bewältigen sollte, und jenen des urbanen Designs auf der anderen Seite. Dieses berücksichtigt ästhetische und Ansprüche an die Lebensqualität, schafft Abfolgen von verschiedenen Räumen und integriert weitere Funktionen als den ausschließlichen Zweck der Mobilität. Jedes beobachtete Verkehrswegemuster kann aus diesem Spannungsfeld heraus erklärt werden (vgl. MARSHALL 2005: 23f).

Zu der Frage, welche Verkehrswegemuster die höchste Effizienz in Bezug auf Transportkapazitäten aufweisen, gibt es sehr unterschiedliche Ansichten. Ebenso gibt es verschiedene Meinungen darüber, für welche Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer das Verkehrswegemuster optimiert werden soll - während die Transportoptimierung seit vielen Jahrzehnten am motorisierten Individualverkehr (MIV) orientiert ist, werden in den letzten Jahren auch andere Verkehrsmittel (wieder) zunehmend berücksichtigt. Auch andere Zwecke des Verkehrsnetzes als die reine Transportleistung rücken zunehmend ins Bewusstsein - insbesondere jene als sozialer Treffpunkt, als Aufenthaltsort und als Sportstätte (vgl. RIFAAT UND TAY 2009a: 66).

Im Gegensatz dazu gibt es auf der Seite des urbanen Designs oft klare Vorstellungen, wie Verkehrswegemuster auszusehen haben. So verlangt etwa Kevin Lynch, dass ein Verkehrswegemuster klar und kohärent sein soll und einen eindeutigen, wiedererkennbaren Charakter aufzuweisen hat. MARSHALL (vgl. 2005: 32ff) hält fest, dass es dabei nicht um ideale Standardmuster gehen soll, welche schablonenhaft kopiert werden können, sondern

um allgemeine Gestaltungsprinzipien, welche erst auf den konkreten Ort angewandt werden müssen.

3.2 Historische Entwicklung von Verkehrswegemustern

Die Muster, in welchen Verkehrswege in städtischen Gebieten angelegt werden, haben sich im Laufe der Jahrhunderte deutlich gewandelt. Die historische Entwicklung der Verkehrswegemuster steht dabei in starkem Zusammenhang mit der Entwicklung der jeweiligen Verkehrsmittel, mit der Gesellschaftsstruktur und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, sowie mit dem Grad an Einfluss und Regulierung des Staates auf Stadtentwicklung (vgl. MOHAJERI ET AL. 2012). Darüber hinaus passen sich die jeweiligen Verkehrswegemuster immer auch in einer gewissen Weise der jeweiligen Topographie und sonstigen Umweltbedingungen an. Der folgende historische Überblick bezieht sich insbesondere auf die Entwicklung der Verkehrswegemuster in europäischen Städten.

3.2.1 Unstrukturierte Muster der gewachsenen Städte

Gewachsene Verkehrswegemuster, wie sie heute noch viele europäische Altstädte prägen, werden oft als organisch, formlos und unstrukturiert bezeichnet (vgl. MARSHALL 2005: 133). Sie entstanden meist im Mittelalter durch Ansiedelung von Menschen rund um Klosterhöfe, Klosterburgen oder Domburgen. Oft bildeten sich in der Nähe von Burgen kaufmännische Siedlungen, die auch als Mutterstädte bezeichnet werden. Durch die unkontrollierte Ansiedelung entstanden organische Verkehrswegemuster, welche auch nach Heranwachsen der Siedlungen zu größeren Bürgerstädten beibehalten wurden und häufig bis heute bestehen (vgl. HEINEBERG 2014⁴: 217ff). Im Gegensatz dazu gab es ab der Neuzeit in europäischen Städten kaum noch Möglichkeiten zur unkontrollierten Errichtung von Stadtteilen und entsprechenden Verkehrswegen.

3.2.2 Rechtwinkelige, rasterförmige Muster der geplanten Städte

Geplant errichtete Städte oder Stadtteile wurden bis ins 19. Jahrhundert, soweit es die Topographie erlaubte, vorwiegend in einem mehr oder wenigen rechtwinkligen, rasterförmigen Verkehrswegemuster angelegt. Schon im Römischen Reich wurden Stadtteile und ganze Städte geplant errichtet. Die Anwendung eines rechtwinkligen, rasterförmigen Verkehrswegemusters war ein wichtiges Prinzip des hippodamischen Schemas, welches oft Leitbild für die Anlage neuer Städte war, wie etwa bei den Städten Xanten oder Wien – insbesondere, da die Stadt dadurch einfach auf gleich große Parzellen aufgeteilt werden konnte, was dem Demokratieverständnis im Römischen Reich entsprach. Es gab bereits eine einfache hierarchische Gliederung in breite Plateia (Hauptstraßen) und schmalere Stenopoi (Nebenstraßen). Historisch gewachsene Städte mit Stadterweiterungsgebieten wie Pompeji wiesen oft eine Kombination aus Stadtteilen mit unstrukturiertem und solchen mit rechteckigem Verkehrswegemuster auf (vgl. VAN TILBURG 2011).

Im Mittelalter gab es kaum geplante Anlagen von Verkehrswegen, allenfalls in einzelnen Fällen zur Schaffung von Marktplätzen oder zur Entlastung von anderen Verkehrswegen (vgl. HEINEBERG 2014⁴: 219ff).

In nordamerikanischen Städten setzte man von Beginn an, ab der Gründung der ersten Städte im Zuge der Kolonialisierung, auf rechtwinkelige, rasterförmige Verkehrswegemuster als Leitbild der Verkehrswegeplanung und blieb diesem Prinzip bis in die 1920er-Jahre im Wesentlichen treu (SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH 2003: 1).

Auch in Europa wurden bei den großen Stadterweiterungen im Rahmen des durch die Industrielle Revolution verursachten starken Zuzugs in die Städte im 19. Jahrhundert und die daraus resultierende Wohnungsnot rechtwinkelige Verkehrswegemuster großflächig angelegt (vgl. HEINEBERG 2014⁴: 233f). Auch die großen Stadterweiterungen in Wien während der Gründerzeit – insbesondere im Süden und Westen Wiens – wurden in Form von rechtwinkelligen, rasterförmigen Verkehrswegemustern realisiert.

3.2.3 Nicht rechtwinkelige, geplante Strukturen der Neuzeit

Die ersten, nicht rechtwinkelligen Verkehrswegemuster wurden in der Neuzeit aus Repräsentationsgründen geschaffen, um Residenzstädte anzulegen. Anstelle der dichten, unregelmäßigen Struktur mittelalterlicher Städte traten weitläufige, symmetrische Strukturen, die rund um ein Schloss angeordnet waren (vgl. HEINEBERG 2014⁴: 224). Handelte es sich in der Renaissance dabei meist noch um rechtwinkelige Verkehrswegemuster, wie etwa in Mannheim, wurden diese zur Zeit des Barock zunehmend durch radiale Verkehrswegemuster verdrängt, im Zeitgeist des Absolutismus, um die „Hinführung zum absoluten Richtpunkt der Stadt, dem Schloss“ (HEINEBERG 2014⁴: 225), zu erreichen, wie es in Karlsruhe der Fall ist. Das daraus resultierende Verkehrswegemuster ist daher ein schiefwinkeliges.

Außerhalb dieser Residenzstädte kamen erste nicht rechtwinkelige, geplante Strukturen erst während der Gründerzeit auf. Ergänzend zu den rechtwinkelligen Strukturen wurden im Baubestand durch Durchbrüche (z.B. Baron Haussmann in Paris) breite Boulevards geschaffen, Diagonalverbindungen zwischen wichtigen Plätzen hergestellt und Plätze mit radial verlaufender Verkehrswegestruktur angelegt (vgl. HEINEBERG 2014⁴: 237).

3.2.4 Hierarchische Strukturen des 20. Jahrhunderts

Die starke Verbreitung des MIVs in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hatte großen Einfluss auf das Muster der Verkehrswege, ebenso wie auf deren Beschaffenheit, Breite, etc. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts waren Straßen neben Fortbewegungswegen auch soziale Treffpunkte für Bewohnerinnen und Bewohner, Spielplatz für Kinder, Eingangsbereiche zu Häusern, Verkehrswege für Fußgänger, und vieles mehr. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden Straßen allerdings fast ausschließlich zur Fortbewegungsstrecke und Parkfläche für den MIV, und alle anderen Nutzungen wurden weitgehend eingeschränkt, wenn nicht verboten (SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH 2003: 6f). Es liegt auf der Hand, dass sich mit dieser Entwicklung auch die Ansprüche an die Verkehrswegemuster geändert haben. Enge, verwinkelte Verkehrswegemuster ohne größere Hierarchie, wie sie bis Anfang des 20.

Jahrhunderts immer noch weit verbreitet waren, erschienen zunehmend ineffizient, um möglichst große Mengen an MIV zu bewältigen, und wurden tendenziell von breiten, geradlinigen Straßen mit klarer Hierarchie abgelöst. Auch rechtwinkelige Verkehrswegeraster wurden mit Aufkommen des MIV aufgrund ihrer fehlenden hierarchischen Gliederung kaum noch angelegt.

Im Folgenden soll kurz auf die Verkehrswegemuster eingegangen werden, die sich in den letzten 100 Jahren, ausgehend von den angloamerikanischen Staaten, stattdessen als übliche Verkehrswegemuster für suburbane Stadterweiterungsgebiete durchgesetzt haben. Diese sind sehr heterogen, unterliegen aber bestimmten gemeinsamen Gestaltungsprinzipien und historischen Wurzeln. Einerseits verlaufen die modernen Verkehrswegemuster oft kurvenförmig und sind mit einer Sackgassenstruktur verbunden („Loops und Lollipops“). Diese steht in Zusammenhang mit einer klaren hierarchischen Gliederung der Verkehrswege in Wohnstraßen und in mehrere Gruppen von höherrangigen Straßen, welche baumförmig aufeinander aufbauen (vgl. Abbildung 12).

Die Grundideen für diese Gestaltungsprinzipien stammen insbesondere aus dem Konzept der Gartenstadt von Raymond Unwin und Barry Parker, welches als Gegenmodell zur dichten Mietskasernenbebauung des 19. Jahrhunderts zu sehen war, um die Lebensqualität der Bewohnerinnen und Bewohner zu verbessern. Demnach sollten rechteckige, geradlinige Formen sowie das flächenhafte Vorkommen von Durchzugsstraßen vermieden werden und insgesamt gut besonnte, grüne und ruhige Siedlungen in offener Bauweise geschaffen werden, die von anderen Funktionen (Industrie, Gewerbe) getrennt sind, und deren Verkehr sich auf große Verkehrsadern konzentriert, welche die Siedlungsgebiete um- und nicht durchfahren, und diese baumförmig erschließen, sodass auf den niederrangigsten Erschließungsstraßen nur ein sehr geringes Verkehrsaufkommen herrscht (vgl. RIFAAT UND TAY 2009b: 61; HEINEBERG 2014⁴: 241). Da diese hierarchische Verkehrsstruktur auch den Anforderungen des MIV sehr entgegen kam, konnten sich diese Verkehrsmuster in weiten Teilen der Welt, und nicht zuletzt auch in Wien, in den Stadterweiterungsgebieten des 20. Jahrhunderts weitgehend durchsetzen.

3.3 Möglichkeiten zur Klassifizierung von Verkehrswegemustern

Klassifizierung ist nie eine neutrale Tätigkeit. Sowohl die Schaffung der Klassifizierungsgrundlage, als auch die Abgrenzung der Klassengrenzen, sind immer in gewissem Maße mit subjektiven Entscheidungen verbunden. Auch wenn die Klassifizierung automatisiert erfolgt, wie im Rahmen dieser Arbeit, bleibt die Wahl des jeweiligen Algorithmus immer noch der Anwenderin oder dem Anwender überlassen.

Im Falle der Klassifizierung von Verkehrswegemustern kommt hinzu, dass diese eine hohe Komplexität aufweisen und ihre Klassifizierung sehr umstritten ist. Es gibt viele verschiedene Vorgangsweisen, Verkehrswegemuster zu klassifizieren, die jeweils zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Verkehrswegemuster können nach geometrischen Aspekten (Komposition), nach topologischen Aspekten (Konfiguration) sowie nach einer Kombination aus beiden klassifiziert werden. In diesem Unterkapitel sollen diese drei Möglichkeiten kurz dargestellt und anschließend verschiedene Ansätze vorgestellt werden, um Verkehrswegemuster automatisiert zu klassifizieren.

3.3.1 Klassifizierung nach geometrischen Gesichtspunkten (Komposition)

Wird ein Verkehrswegemuster nach geometrischen Gesichtspunkten klassifiziert, so wird dieses auch als Komposition bezeichnet (vgl. Abbildung 6). Die Klassifikation erfolgt dabei beispielsweise anhand von Segmentlängen, Orientierungsrichtungen und Schnittwinkeln der Verkehrswege oder von Flächeninhalten und Formen der durch die Verkehrswege eingeschlossenen Blöcke.

Ein typisches Beispiel für eine Klassifizierung von Verkehrswegemustern nach geometrischen Gesichtspunkten ist jene nach MARSHALL (vgl. 2005: 134f), welcher eine Klassifizierung anhand von vier Prototypen erstellt hat, die er als ABCD-Typologie bezeichnet (vgl. Abbildung 5), und die jeweils auch in Zusammenhang mit einer bestimmten Errichtungsepoche und den dort üblichen Verkehrsmitteln stehen. Typ A, die Altstadt, bezieht sich auf dichte historische Stadtkerne aus Zeiten des Zufußgehens. Typ B bezeichnet ein bilaterales, rechtwinkeliges Muster, das auf die Nutzung durch Pferde und Kutschen zugeschnitten ist. Typ C beschreibt die Siedlungsstruktur der Loops – eine Mischung aus regelmäßigen und unregelmäßigen Bereichen mit wenig Sackgassen, die sich im 20. Jahrhundert etablierte, und Typ D die für moderne angloamerikanische Suburbs typische, hierarchische Sackgassenstruktur (Lollipop).

Die ABCD-Typologie wurde insbesondere für angloamerikanische Städte konzipiert. In Wien lassen sich die Typen A (Innere Stadt und alte Ortskerne), B (Stadterweiterungsgebiete des 19. Jahrhunderts) und C (Stadterweiterungsgebiete des 20. Jahrhunderts) sehr gut wiederfinden, während Typ D eher selten anzutreffen ist.

Andere geometrische Klassifizierungen, welche insbesondere auf Europa und Nordamerika zugeschnitten sind, sind im Allgemeinen ähnlich aufgebaut wie die ABCD-Typologie, enthalten aber teilweise noch weitere Typen. So beschreiben SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH (vgl. 2003: 115) neben den Typen B (rechtwinkliger Raster), C (Loops) und D (Distributiv) noch zwei weitere Verkehrswegemustertypen, nämlich das fragmentiert parallele sowie das verzerrt parallele Muster, welche sie historisch zwischen dem Raster- und dem Loops-Muster ansiedeln.

3.3.2 Klassifizierung nach topologischen Gesichtspunkten (Konfiguration)

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit für Verkehrswegemuster ist jene nach topologischen Kriterien. Das resultierende Muster wird auch als Konfiguration bezeichnet (vgl. Abbildung 6). Die Konfiguration beschreibt das Verkehrswegenetzwerk anhand von Kanten und Knoten.

Typische Eigenschaften dieser Verkehrswegetypen sind beispielsweise bestimmte Werte für Nähe, Kontinuität und Konnektivität, sowie die jeweilige Anzahl an Kanten und Knoten und das Vorkommen einzelner topologischer Verkehrswege- und Kreuzungstypen wie Sackgassen, Dreiwegekreuzungen („T-Kreuzungen“) und Vierwegekreuzungen („X-Kreuzungen“) (vgl. MARSHALL 2005: 87ff). So gibt etwa das T-Verhältnis das Verhältnis von T-Kreuzungen zu allen Kreuzungen an, oder das Sackgassenverhältnis das Verhältnis der Anzahl an Sackgassen zu der Anzahl an geschlossenen Blöcken (Zellen) (vgl. ebd.: 98).





Typ	Beispielmuster	Typisches Vorkommen	Straßenfronten	Verkehrszeitalter
Typ A <i>Altstadt</i>		Historischer Stadtkern	Straßenfronten bebaut	Zeitalter von Fußgängern und Pferden
Typ B <i>Bilateral</i>		Rechtwinkliger Raster (Zentrum, Stadterweiterungsgebiet, oder ganze Stadt)	Straßenfronten bebaut	Zeitalter von Pferden und Kutschen
Typ C <i>Charakteristisch</i>		überall; inklusive individueller Siedlungen und suburbane Erweiterungsgebiete; oft um Hauptverkehrsstraßen angeordnet	Straßenfronten bebaut oder zurückgesetzte Gebäude ("Pavilions")	alle; Zeitalter des ÖV und des Autos
Typ D <i>Distributiv</i>		Periphere Entwicklung; zur Auffüllung großer Blöcke außerhalb der Hauptverkehrsstraßen	Zurückgesetzte Gebäude, die nur über Zufahrtsstraßen erreichbar sind	Zeitalter des Autos

Abbildung 5: Urbane Assoziationen der ABCD-Klassifizierungstypen von Verkehrswegemustern (Quelle: MARSHALL 2005: 85; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)

Auf diesen Grundlagen lassen sich auch deutlich komplexere Parameter realisieren. Beispielsweise verwendet BARTHELEMY (vgl. 2008) die räumliche Verteilung der Betweenness-Zentralität – also die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Knoten oder eine bestimmte Kante im kürzesten Pfad aller Knotenkombinationen im Netzwerk vorkommt – als Grundlage für die Klassifikation.

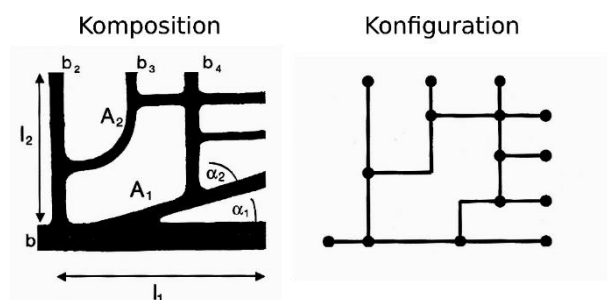


Abbildung 6: Unterschied zwischen Komposition und Konfiguration eines Verkehrswegenetzes (Quelle: MARSHALL 2005: 86; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)

3.3.3 Integrierte Klassifizierung nach geometrischen und topologischen Gesichtspunkten

MARSHALL (vgl. 2005: 90ff) hat auch versucht, eine Klassifizierung zu finden, welche sowohl geometrische, als auch topologische Gesichtspunkte berücksichtigt, und diese in eine strukturierte Form zu bringen. Eine sehr grundlegende, integrierte Taxonomie wird in Abbildung 7 dargestellt. Grundsätzlich wird zwischen „reinen“ und gemischten Formen unterschieden, wobei Erstere wiederum in Strukturen mit und ohne Zellen unterteilt werden. Strukturen ohne Zellen können Verzweigungen aufweisen oder nicht, und diese können wiederum auf ein Zentrum ausgerichtet oder hierarchisch angelegt sein.

Auf den darauffolgenden Seiten (vgl. MARSHALL 2005: 93-97) hat er Möglichkeiten angeführt, diese Grundtaxonomie weiter zu untergliedern bzw. auch noch weitere Parameter zu berücksichtigen. Insbesondere werden hier die zellulären Muster noch genau untergliedert, etwa anhand ihrer Schnittwinkel, dem Verhältnis von T- zu X-Kreuzungen sowie anhand dessen, ob die einzelnen Segmente geradlinig verlaufen oder kurvenförmig.

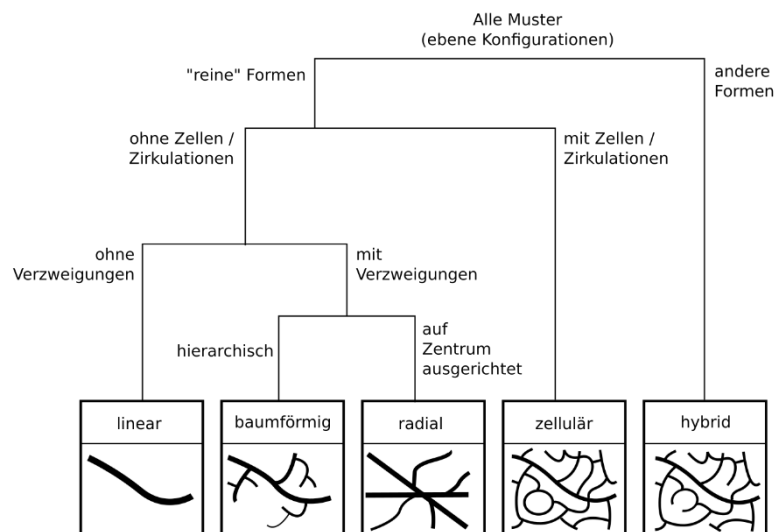


Abbildung 7: Integrierte Taxonomie der Verkehrswegemuster (Quelle: MARSHALL 2005: 91; Eigene Bearbeitung und Übersetzung)

3.3.4 Automatisierte Klassifikation von Verkehrswegemustern mithilfe von GIS

Die Ergebnisse der beschriebenen verschiedenen Ansätze zur Klassifizierung von Verkehrswegemustern unterscheiden sich oft deutlich und teilweise werden Verkehrswegemuster sogar als „willkürlich“ und „unmöglich“ zu klassifizieren bezeichnet - inklusive der Annahme, dass auch die Zuteilung zu den einzelnen Klassen bei vorgegebenen Klassifikationsschemata stark vom Auge des Betrachters abhängt, und man in Mustern „jedes Muster sehen kann, das man darin sehen will“ (MARSHALL 2005: 74f).

Um diese Willkür zumindest in gewissem Rahmen zu objektivieren, wurden in den letzten Jahren bereits erste Studien zur automatisierten Klassifikation von Verkehrswegemustern durchgeführt, wobei unterschiedliche Methoden zum Einsatz kamen. Im Rahmen einer

automatisierten Klassifizierung können sowohl geometrische, als auch topologische Parameter bzw. eine Kombination aus beiden berücksichtigt werden. In den meisten Fällen stützt sich die Klassifizierung bzw. die Berechnung dabei auf Geoinformationssysteme.

Die einzige mir bekannte Studie zur automatisierten Klassifikation von Verkehrswegemustern mithilfe eines GIS auf Basis der durch das Verkehrsnetzwerk begrenzten Blöcke – im Gegensatz zum Verkehrsnetz selbst als Basis – wurde von LOUF und BARTHELEMY (vgl. 2014) durchgeführt. Dabei berücksichtigten sie die Größe sowie die geometrische Form der Blöcke als geometrische Kennzahlen, wobei sie die Form durch das Verhältnis zwischen Umkreis und Flächeninhalt ausdrücken. Die Klassifizierung selbst erfolgte anhand einer hierarchischen Clusteranalyse. Sie klassifizierten dabei nicht wie im Rahmen dieser Masterarbeit Teile von Städten, sondern Großstädte als Ganze. Dabei ermittelten sie vier Grundtypen, welche anhand von jeweils einem typischen Vertreter in Abbildung 8 dargestellt sind. Die Autoren verzichteten auf Benennungen dieser vier Typen, versuchten aber, ihre gemeinsamen Merkmale zu beschreiben. Demnach weisen Städte vom Typ 1 vor allem rasterförmige, mittelgroße Blöcke auf, Städte vom Typ 2 unregelmäßige, fein strukturierte Muster mit sehr unterschiedlichen Formen, Städte vom Typ 3 ähnliche Flächen bei unterschiedlichen Blockformen und Städte vom Typ 4 rasterförmige Muster mit geringen Blockflächen.

Die Autoren weisen selbst darauf hin, dass die beiden berücksichtigten Variablen nicht ausreichen, um alle Aspekte des Verkehrswegemusters abzudecken, und verweisen auch darauf, dass ihre Klassifikation nur Städte als Ganzes klassifiziert und nicht auf die unterschiedlichen Verkehrswegemuster innerhalb einer Stadt eingeht (vgl. LOUF und BARTHELEMY 2014: 7).

Einen anderen Ansatz zur Klassifikation von Verkehrsnetzmustern mittels GIS wählten DING UND TONG (vgl. 2011), indem sie im GIS mithilfe eines Viewsheds entlang einer Bezugslinie, welche entlang der Mittellinie eines Verkehrswegs verläuft, ein visual Statistical Diagram (VSD) rechneten, und dieses als Klassifikationsgrundlage heranzogen. Je nach Konfiguration des Verkehrsnetzwerkes ergeben sich dabei unterschiedliche, typische Formen des VSD, welche sie als Street Spatial Related Line Pattern (SSRL) bezeichnen.

Eine weitere Studie zur Berechnung von geometrischen Kennzahlen mithilfe eines GIS erfolgte durch MOHAJERI ET AL. (vgl. 2012), welche die Orientierung und Länge der Verkehrswege analysierten. Dabei fanden sie anhand der Stadt Dundee in Schottland heraus, dass die meisten Verkehrswege parallel oder normal zur Küste orientiert sind, wobei dieser Trend an den Stadterweiterungsgebieten stärker ausgeprägt ist als in der von einem unregelmäßigen Muster geprägten Altstadt. Außerdem untersuchten sie die Verteilung der Längen der Segmente und stellten fest, dass diese exponentiell verteilt sind, wobei die Anzahl der Segmente mit zunehmender Länge exponentiell abnimmt. Eine systematische Klassifizierung der Muster erfolgte in dieser Studie allerdings nicht.



Abbildung 8: Typische Vertreter der vier resultierenden Haupttypen der Verkehrswegemuster in der Untersuchung von LOUF und BARTHELEMY (2014): (Quelle: ebd.: 5)

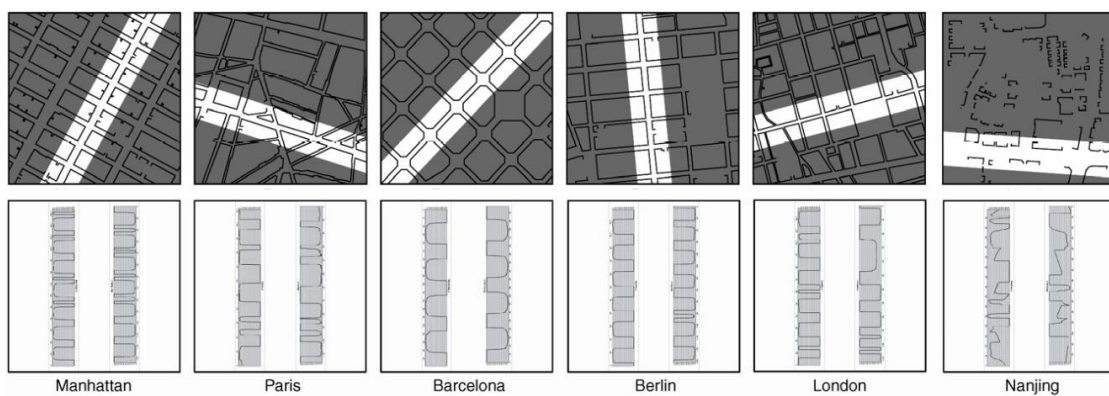


Abbildung 9: Visual Statistical Diagrams (unten) ausgewählter Straßenzüge (oben) aus ausgewählten Städten (Quelle: DING UND TONG 2011: 329f)

4 Einflussfaktoren und Charakteristiken des Verkehrsunfallgeschehens

In diesem Kapitel sollen die Einflussfaktoren und Charakteristiken des Verkehrsunfallgeschehens erörtert und jeweils am Beispiel der Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien im Jahr 2015 veranschaulicht werden. Diese Kenntnisse erlauben eine Interpretation eines eventuellen Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen, um Antworten auf Fragestellung V dieser Arbeit geben zu können.

Im Jahr 2015 gab es im Wiener Stadtgebiet 5.848 Unfälle mit Personenschaden, bei denen insgesamt 7.084 Personen verletzt oder getötet wurden. Davon wurden 6.410 Personen leicht verletzt, 659 schwer verletzt und 13 getötet (vgl. STATISTIK AUSTRIA 2016a).

Das Verkehrsunfallrisiko steigt mit der Anzahl an Verkehrskonflikten in einem Gebiet. Ein Verkehrskonflikt ist gemäß RVS 02.02.22 (1995) „eine Situation, in der Verkehrsteilnehmer einander oder Hindernissen in einer Weise nahekommen, dass die ursprünglich gewählte Bewegungsart (Geschwindigkeit, Richtung, Verzögerung, Beschleunigung) abrupt verändert werden muss, damit eine wahrscheinliche Kollision vermieden wird“ bzw. „eine Situation, in der keiner der Verkehrsteilnehmer eine Reaktion setzt, aber eine geringfügige Änderung der Bewegungsart zur Kollision führen würde.“ Im überwiegenden Anteil der Verkehrskonflikte kann ein Verkehrsunfall vermieden werden, allerdings ist dies in starkem Maße vom Zufall abhängig (vgl. Abb. Abbildung 10). Die Frage, wie das Verkehrsunfallgeschehen räumlich ausgeprägt ist und wie man es beeinflussen kann, lässt sich also auch damit beantworten, wie das Verkehrskonfliktgeschehen räumlich ausgeprägt ist und wie man dieses beeinflussen kann.

Laut LI ET AL. (vgl. 2007: 274) lassen sich die Einflussfaktoren auf das Verkehrsunfallgeschehen bzw. Verkehrskonfliktgeschehen in fünf Hauptgruppen gliedern - Verhalten der Verkehrsteilnehmer, Verkehrsmittelwahl, Verkehrscharakteristiken (Geschwindigkeit, Fluss, Dichte, etc.), Beschaffenheit der Verkehrswege (Hierarchie, Kapazität, Muster, Design, Oberfläche, etc.) sowie verschiedene Umweltfaktoren (Wetter, etc.). Dabei betonen sie, dass diese Faktoren nicht als voneinander unabhängig angesehen werden können, sondern auch die Kombination bzw. Wechselwirkung dieser Faktoren einen bedeutenden Einfluss auf das Verkehrsunfallgeschehen hat.

Der Aufbau dieses Kapitels orientiert sich grundsätzlich an dieser Gliederung. Im ersten Unterkapitel wird auf den Einfluss von Wahrnehmung und Verhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer eingegangen. Das zweite Unterkapitel beschäftigt sich mit dem Einfluss der Verkehrsmittelwahl. Das dritte Unterkapitel geht auf den Einfluss der Geschwindigkeit als wichtigsten Einflussfaktor aus der Gruppe der Verkehrscharakteristiken ein. Mit Einflussfaktoren aus der Gruppe der Verkehrswegebeschaffenheit befassen sich das vierte und fünfte Unterkapitel, wobei das vierte Unterkapitel die Einflüsse der Verkehrswegehierarchie beschreibt und das fünfte den Einfluss von Verkehrswegemustern. Im darauffolgenden Unterkapitel werden, ergänzend zu den Einflussfaktoren, die unmittelbaren Unfallursachen ausgeführt. Die letzten beiden Unterkapitel gehen auf die räumliche und zeitliche Verteilung von Verkehrsunfällen ein.

4.1 Der Einfluss von Wahrnehmung und Verhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer

Verkehrskonflikte entstehen beinahe ausschließlich durch fehlerhaftes Verkehrsverhalten der einzelnen Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer, und nur in sehr seltenen Fällen trotz Einhaltung aller Vorschriften, wie etwa im Falle von technischem Versagen (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 22). Um zu verstehen, wie Verkehrskonflikte, und in Folge dessen oft auch Verkehrsunfälle, entstehen, ist daher ein gewisses verkehrspsychologisches Grundwissen notwendig. Gleichzeitig war die hohe Anzahl an Verkehrsunfällen und deren schwerwiegende Folgen auch die Hauptmotivation dafür, überhaupt Verkehrspsychologie zu betreiben (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 47).

Die Verkehrspsychologie ist eine psychologische Disziplin, die sich mit dem bewussten Erleben und Verhalten bei der Teilnahme an Ortsveränderungen im Rahmen organisierter Verkehrssysteme befasst (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 50). In diesem Kapitel sollen nur jene verkehrspsychologischen Grundlagen vorgestellt werden, welche für die Verkehrssicherheit und das Verkehrsunfallrisiko von Interesse sind.

Ein wichtiger Teilbereich der Verkehrspsychologie ist in diesem Zusammenhang die Verkehrskonfliktforschung, welche sich mit der Entwicklung von präventiven Methoden zur Vermeidung von Verkehrskonflikten durch Bewertung der Sicherheit von Verkehrssystemen beschäftigt, zu denen die Verkehrskonflikttechnik, Befragungen und Beobachtungen gehören (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 55).

4.1.1 Menschliche Wahrnehmung im Verkehr

Für die Verkehrsteilnahme sind die meisten menschlichen Sinne relevant – Sehen, Hören, Hautempfindung, Organempfindung, Orientierung und Gleichgewichtssinn – wobei dem Sehsinn im Allgemeinen die weitaus höchste Bedeutung zukommt. Die Grenzen der menschlichen Wahrnehmung sind individuell verschieden und können auch durch die Situation verschoben werden, wie z.B. unter Alkoholeinfluss oder bei Müdigkeit (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 59). Außerdem gibt es individuelle Unterschiede, wie empfangene Reize verarbeitet werden, die insbesondere von Wissen, Erfahrung und Erwartung abhängen (vgl. ebd. 2011: 62).

Verschiedene psychologische Phänomene können die Verkehrswahrnehmung verzerren und zu gefährlichen Situationen führen. Dazu zählt etwa die Tendenz zur guten Gestalt, wonach wir jeden neuen Sinneseindruck in eine bekannte Ordnung eingliedern wollen. Weitere diesbezügliche Phänomene sind Verdrängung, Verschiebung (z.B. persönliche Probleme im Verkehr auslassen), Rationalisierung (z.B. die Überzeugung, eine überhöhte Geschwindigkeit sei in Ordnung, wenn man es eilig hat) sowie Adaption (z.B. Anpassung an Maßnahmen zur Temporeduktion) (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 60ff).

Die menschliche Aufmerksamkeitsspanne ist begrenzt. So können etwa nur drei Gegenstände pro Sekunde fixiert werden. Zwar können mehrere Reize parallel aufgenommen werden, allerdings wird dabei nur jeweils ein Reiz bewusst, und die übrigen werden automatisiert verarbeitet (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 63). Bestimmten Reizen wird dann besondere Aufmerksamkeit geschenkt, wenn sie sich schnell verändern,

wenn sie eine hohe Intensität haben, wiederholt auftreten, ungewöhnlich sind oder auf die eigene Person bezogen sind. Im Idealfall wird die gesamte Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer dem Verkehrsgeschehen zuteil und keiner anderen „Ablenkung“ – man spricht in diesem Zusammenhang auch von Vigilanz, mithilfe welcher möglichst viele verkehrsbezogenen Signale richtig zugeordnet werden sollen (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 63f).

4.1.2 Menschliches Verhalten im Verkehr

Theoretisch sollten die gesetzlichen Rahmenbedingungen im Straßenverkehr so ausgeführt sein, dass kein Verkehrsunfall entstehen kann, wenn sich alle Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer an diese halten – mit wenigen seltenen Ausnahmen, wie etwa technisches Gebrechen. Daher sind in Bezug auf die Verkehrssicherheit insbesondere die Ursachen und Motive für fehlerhaftes Verkehrsverhalten von Interesse.

Im Modell von MARX ET AL. (vgl. 1996; siehe Abb. Abbildung 10) stellt die Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen das überwiegend auftretende Normalverhalten (grün) im Verkehr dar. Fehlerhaftes Verkehrsverhalten (gelb) bleibt wiederum in den meisten Fällen ohne negative Auswirkungen, da trotz Nichteinhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen keine gefährliche Situation entsteht. Dies liegt darin begründet, dass die gesetzlichen Rahmenbedingungen lediglich garantieren sollen, dass ihre Einhaltung zu keinem Verkehrskonflikt führen kann, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die Nichteinhaltung einen Verkehrskonflikt lediglich theoretisch möglich, allerdings nicht wahrscheinlich macht. In jenen Situationen, in denen es dennoch zu einem Verkehrskonflikt kommt (orange), können die Beteiligten einen Verkehrsunfall (rot) durch entsprechende Reaktionen häufig noch abwenden.

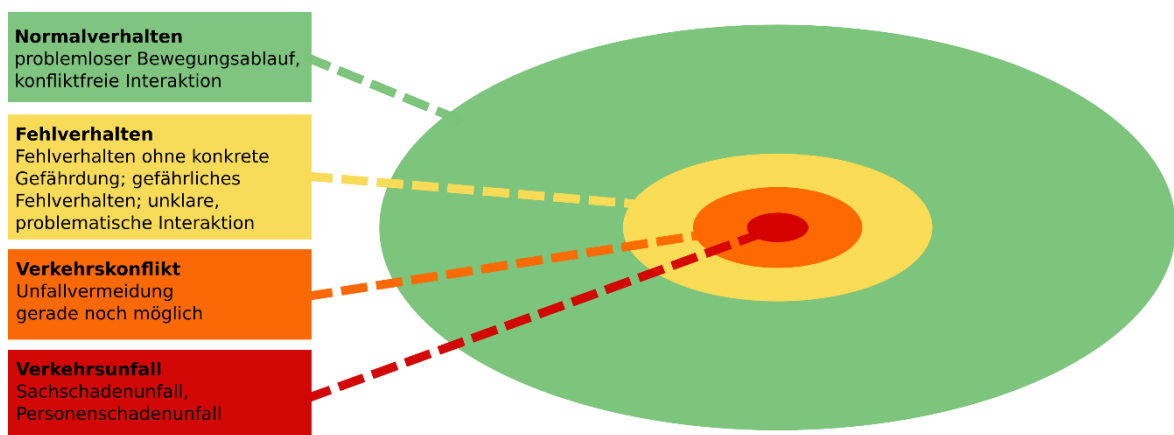


Abbildung 10: Modell zum Verkehrsverhalten und dessen Folgen im Straßenverkehr (nach MARX ET AL. 1996; Eigene Erstellung)

Eine grundlegende Unterscheidung in Bezug auf fehlerhaftes Verkehrsverhalten ist jene, ob sich die betreffende Person nicht korrekt verhalten kann, und damit mangelnde Fähigkeiten aufweist, oder sich nicht korrekt verhalten will, und damit andere Interessen höher priorisiert

als die Verkehrssicherheit (schnelleres Vorankommen, Adrenalinkick, etc.). Der Großteil der Verkehrsunfälle entsteht aus letzterem Grund. Die Fragestellung dieser Arbeit kann daher auch in jener Weise interpretiert werden, ob bestimmte Verkehrswegemuster die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer stärker zu bewusstem Fehlverhalten verleiten als andere.

Die Motive für diese bewussten Gesetzesverletzungen sind sehr unterschiedlich – werden aber dadurch verstärkt, dass das Fehlverhalten für die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer in den meisten Fällen ohne negative Folgen bleibt, solange es zu keinem Verkehrsunfall kommt (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 82). Auch die soziale Kontrolle ist im Verkehr deutlich niedriger als in anderen Lebensbereichen. Um Fehlverhalten zu reduzieren, müssten daher entsprechend mehr Anreize für korrektes Verhalten bzw. mehr Sanktionen für das Fehlverhalten gegeben werden (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 28).

Unabhängig von den geltenden Gesetzen tendieren Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer dazu, eine geringe Vigilanz und eine hohe Geschwindigkeit zu wählen, wenn die subjektive Sicherheit, die nicht zwingend mit der objektiven Sicherheit gleichzusetzen ist, hoch ist. Umgekehrt weisen sie eine hohe Vigilanz und geringe Geschwindigkeit auf, wenn die subjektive Sicherheit gering ist. Dies kann zu der paradoxen Situation führen, dass etwa Maßnahmen, welche die Sicherheit erhöhen sollen, eine Verringerung der Sicherheit bewirken, da das Risikoverhalten entsprechend erhöht wird (z.B. Pflicht zum Tragen von Fahrradhelmen; vgl. WALKER 2007). Umgekehrt können Maßnahmen, welche die subjektive Sicherheit senken, eine Erhöhung der objektiven Sicherheit bewirken, da sich die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer entsprechend vorsichtiger fortbewegen (z.B. Shared Space bzw. Begegnungszonen) (vgl. VAN GOEVERDEN ET AL. 2015: 410). Dieses Phänomen wird auch als Risikokompensation bezeichnet.

Breite, gerade Straßen erwecken ein subjektiv hohes Sicherheitsgefühl und verleiten daher zu hohen Geschwindigkeiten. Weiters erwecken sie an Kreuzungen den Eindruck, Vorrang zu haben, unabhängigen von der tatsächlichen Vorrangssituation. Außerdem lenken sie die Aufmerksamkeit weiter nach vorne und reduzieren dadurch das periphere Sehen (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 217).

KAM (vgl. 2002) hat mithilfe eines GIS untersucht, wie sich das Verkehrsverhalten auf individueller Ebene auf das Verkehrsunfallrisiko auswirkt, um bestimmen zu können, welche Risikofaktoren es für das Verkehrsunfallgeschehen auf individueller Ebene gibt. So wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass das Verkehrsunfallrisiko von Männern signifikant höher ist als jenes von Frauen und dass Führerscheinneulinge ein besonders hohes Verkehrsunfallrisiko aufweisen, welches mit dem Alter abnimmt und erst in hohem Alter wieder leicht ansteigt. Diese Ergebnisse werden mit dem höheren Risikoverhalten von jungen Menschen und Männern bzw. der geringeren Erfahrung von jungen Menschen erklärt. Das entsprechende Risiko wurde auch in Abhängigkeit vom Tagesverlauf dargestellt. Außerdem wurde gezeigt, dass das Verkehrsunfallrisiko pro Streckeneinheit bei Fahrten mit einer Länge von mehr als 10 Kilometern deutlich höher ist als bei Fahrten mit einer Länge von weniger als 10 Kilometern.

4.2 Der Einfluss der Verkehrsmittelwahl

Unterschiedliche Verkehrsmittel haben unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten, Verkehrsunfälle zu verursachen bzw. in solche verwickelt zu werden. Auch die räumliche Verteilung der Unfallbeteiligungen der einzelnen Verkehrsmittel unterscheidet sich deutlich.

Um den Einfluss einzelner Verkehrsmittel auf das Verkehrsunfallgeschehen bestimmen zu können, müssen diese zuerst klassifiziert werden. Üblicherweise werden die Hauptkategorien der Fußgängerinnen und Fußgänger, des nicht-motorisierten Individualverkehrs (NMIV; Fahrrad, Scooter, etc.), des öffentlichen Verkehrs (ÖV) sowie des motorisierten Individualverkehrs (MIV) unterschieden. Aufgrund der stark voneinander abweichenden Unfallzahlen werden im Rahmen dieser Arbeit der einspurige MIV (EMIV; Motorrad, Moped, etc.) sowie der zweispurige MIV (ZMIV; PKW, LKW, etc.) getrennt analysiert. Die konkrete Kategorisierung erfolgte dabei anhand von Tabelle 4 (vgl. Seite 48).

Abbildung 11 zeigt im ersten Kreisdiagramm den Modal Split von Wien, also den Anteil der einzelnen Verkehrsmittel an den zurückgelegten Wegen, und stellt diesem in den weiteren Diagrammen die Hauptunfallverursacher sowie die Anzahl der Verletzten und Schwerverletzten im Straßenverkehr, jeweils gesplittet nach Verkehrsmitteln, gegenüber. Da im verwendeten Datensatz (vgl. STATISTIK AUSTRIA 2016a) nicht zu jedem Unfall ein Hauptunfallverursacher angegeben wurde bzw. angegeben werden konnte, ist deren Gesamtzahl geringer als jene der Verkehrsunfälle. Alle angegebenen Daten beziehen sich auf das Jahr 2015.

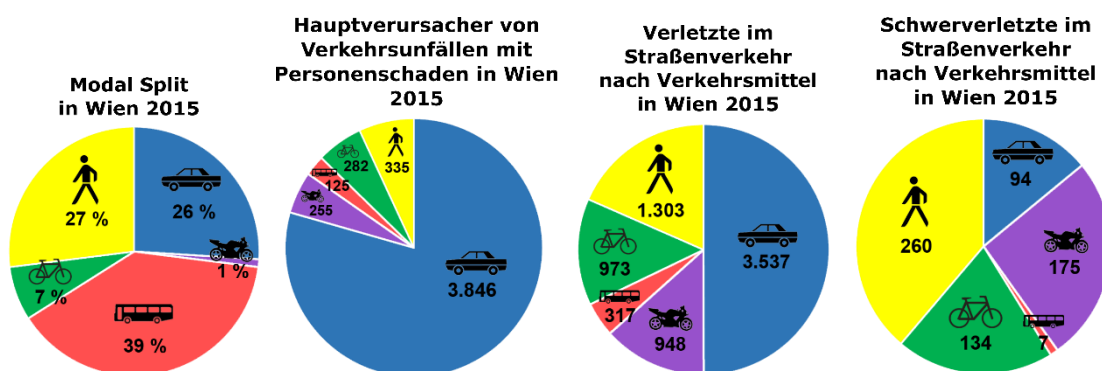


Abbildung 11: Modal Split, Hauptverursacher von Verkehrsunfällen mit Personenschäden, Verletzte und Schwerverletzte im Straßenverkehr nach Verkehrsmittel in Wien 2015 (Datenquelle Verkehrsunfallzahlen: STATISTIK AUSTRIA 2016a, Datenquelle Modal Split: FAHRRAD WIEN 2016; Eigene Erstellung)

Fußgängerinnen und Fußgänger (in Abbildung 11 gelb dargestellt) kommen auf 26 % des Modal Splits und haben dagegen nur 6,9 % aller Verkehrsunfälle hauptverursacht. Ihr Anteil unter den Verletzten ist zwar mit 18,4 % vergleichsweise gering, allerdings ist der Anteil an den Schwerverletzten mit 38,7 % sehr hoch.

Der NMIV (in Abbildung 11 grün dargestellt) machte 7 % des Modal Splits aus, während 13,7 % der Verletzten und 20,0 % der Schwerverletzten auf diese Gruppe entfallen. 5,8 % der Verkehrsunfälle wurden vom NMIV hauptverursacht.

Die sicherste Fortbewegungsart ist mit Abstand jene mit dem ÖV (in Abbildung 11 rot dargestellt), mit welchem 39 % aller Wege zurückgelegt werden, auf den jedoch nur 4,5 % der Verletzten und 1,0 % der Schwerverletzten entfallen. Außerdem war der ÖV nur für 2,6 % aller Verkehrsunfälle hauptverantwortlich.

Die mit Abstand gefährlichste Art der Fortbewegung ist jene mit dem EMIV (in Abbildung 11 violett dargestellt). Dieser macht zwar nur 1 % des Modal Splits aus, jedoch entfallen 13,4 % der Verletzten und sogar 26,1 % der schwerverletzten Personen auf diese Gruppe. 5,2 % aller Unfälle wurden vom EMIV hauptverursacht.

Während im Jahr 2015 nur 26 % der Wege in Wien mit dem ZMIV (in Abbildung 11 blau dargestellt) zurückgelegt wurden, wurde mit 79,4 % die große Mehrheit aller Unfälle mit Personenschaden in Wien von ZMIV-Lenkerinnen und -Lenkern verursacht. Allerdings entfallen auf den ZMIV nur 14,0 % der Schwerverletzten, und mit 50,0 % die Hälfte aller im Verkehr verletzten Personen.

Das Gefährdungspotential einzelner Verkehrsmittel ist also sehr unterschiedlich und muss daher jedenfalls in der Analyse berücksichtigt werden. Wie aus den Darstellungen hervorgeht, wird der überwiegende Anteil der Verkehrsunfälle mit Personenschaden (84,7 %) von MIV-Lenkerinnen und -Lenkern verursacht. In Kombination mit den Erkenntnissen aus Kapitel 4.1 lässt sich also festhalten, dass die meisten Verkehrsunfälle dadurch entstehen, dass sich die Gruppe der MIV-Lenkerinnen und -Lenker nicht an die geltenden Gesetze hält. Die Fragestellung dieser Arbeit lässt sich also zur Vereinfachung der Interpretation der Ergebnisse durch die Folgefragestellung substituieren, ob bestimmte Verkehrswegemuster die MIV-Lenkerinnen und -Lenker stärker zu einem Fehlverhalten verleiten als andere.

Dennoch darf die Fragestellung nicht vollständig auf diese Folgefragestellung reduziert werden, da nicht vergessen werden darf, dass ein gewisser Anteil der Verkehrsunfälle auch von anderen Verkehrsteilnehmern als dem MIV verursacht wird und es auch Verkehrsunfälle gibt, deren Hauptursache nicht im Fehlverhalten einzelner Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer liegt.

4.3 Der Einfluss der Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge spielt eine fundamentale und oft unterschätzte Rolle im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit, da die kinetische Energie mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 24f).

Insbesondere bei Unfällen zwischen Fußgängerinnen und Fußgängern mit einem KFZ ist die Geschwindigkeit des KFZ die entscheidende Größe, welche die Fatalität des Unfalls bestimmt (vgl. CHALOUPKA-RISSER ET AL. 2011: 125). Während Fußgängerinnen und Fußgänger einen Zusammenstoß bei einer KFZ-Geschwindigkeit von 30km/h in den meisten Fällen überleben, gibt es bei einer Geschwindigkeit von 50km/h kaum Überlebenschancen (ebd.: 24).

Um aus Erkenntnissen wie diesen auch Handlungsempfehlungen ableiten zu können, hat Gunnarsson 1995 untersucht, welche Höchstgeschwindigkeiten angemessen wären, um schwerwiegende Unfälle in Grenzen zu halten. Er wollte also jenes Tempo ermitteln, ab dessen Überschreitung schwerwiegende Unfälle stark zunehmen. Demzufolge sollten Fahrzeuge im Ortsgebiet mit maximal 30km/h und im Freiland mit maximal 70km/h unterwegs sein (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 25f).

Geschwindigkeitsbeschränkungen bewirken, wenn sie entsprechend kontrolliert und Übertretungen sanktioniert werden, in jedem Fall eine Senkung der Anzahl und Schwere von Verkehrsunfällen, da sie die tatsächlich gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit und damit auch das Verkehrsunfallrisiko senken. Neben diesem direkten Effekt haben Geschwindigkeitsbegrenzungen auch eine indirekte positive Folge für die Verkehrssicherheit. Denn eines der wichtigsten Argumente für die Nutzung des MIV ist die damit erreichbare Geschwindigkeit. Geschwindigkeitsbegrenzungen tragen dazu bei, diesen Vorteil zu relativieren und den Anteil des MIV am Modal Split zu verringern, was wiederum zu geringeren Verkehrsunfallzahlen führt (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 43).

Neben Geschwindigkeitsbeschränkungen hat auch die Beschaffenheit eines Verkehrsweges einen bedeutsamen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer. So gibt es etwa das Modell des Durchfahrtswiderstandes von DIETIKER (vgl. 2009), in dem eine Vielzahl an Faktoren der Verkehrswegbeschaffenheit angeführt werden, welche Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer dazu veranlassen, ihre Geschwindigkeit zu reduzieren, wie etwa bauliche Querungen, eine geringe Fahrbahnbreite, hohes Verkehrsaufkommen, parkende Autos, ÖV-Haltestellen, bestimmte Straßenbeläge, etc. (vgl. CHALOUKKA-RISSER ET AL. 2011: 68f).

4.4 Der Einfluss der Verkehrswegehierarchie

Das Verkehrsunfallgeschehen ist auch in gewisser Weise davon abhängig, welche hierarchische Gliederung diese jeweiligen Verkehrswege aufweisen. Bei der Ermittlung des Einflusses der Verkehrswegehierarchie auf das Verkehrsunfallgeschehen muss aber zuerst klargestellt werden, ob die gewünschte hierarchische Ebene gemeint ist, welche ein bestimmter Verkehrsweg haben soll, oder jene, welche der Verkehrsweg in der Praxis tatsächlich einnimmt. Intention und Realität unterscheiden sich hier oft sehr deutlich, etwa, wenn eine Anrainerstraße, die als Straße niedriger Hierarchie geplant wurde, als Schleichweg stark frequentiert wird (vgl. MARSHALL 2005: 34f) und damit vermutlich ein deutlich höheres Verkehrsunfallrisiko aufweist, als es ihrer geplanten Hierarchie entspricht. Hier ist es Aufgabe einer guten Verkehrsplanung, dafür zu sorgen, dass die geplante Hierarchie auch tatsächlich in die Realität umgesetzt wird, etwa indem die Durchfahrt durch einen solchen Schleichweg unattraktiv bzw. unmöglich gemacht wird.

Oft wird das Verkehrswegemuster als baumförmige Hierarchie betrachtet, in welcher niederrangige Verkehrswege den lokalen Verkehr aufsammeln und auf mittlerangige Verkehrswege weiterleiten, und diese wiederum auf höherrangige Verkehrswege. Zur Perfektion getrieben wird dieses Prinzip in den angloamerikanischen Suburbs der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Abbildung 12 zeigt den Standard zur hierarchischen Gliederung von Neubaugebieten, welchen das US-amerikanische Institut der Transportingenieure (ITE)

im Jahr 1965 herausgegeben hat, welcher insgesamt vier Verkehrswegehierarchien unterscheidet – Loops bzw. Cul-de-Sacs, Minor Streets, Collector Streets und Arterial Streets (Quelle: SOUTHWORTH und BEN-JOSEPH 2003: 101).

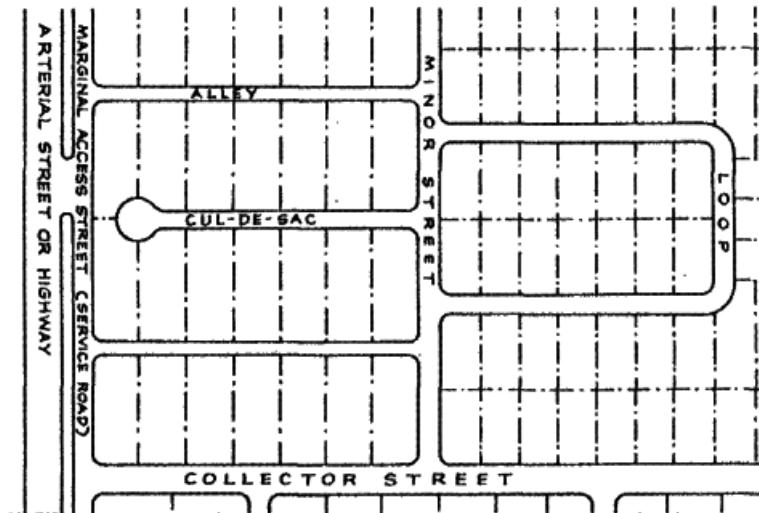


Abbildung 12: Standard für die hierarchische Gestaltung des Verkehrswegemusters von Wohngebieten des US-amerikanischen Institute of Transportation Engineers (ITE) von 1965 (Quelle: SOUTHWORTH und BEN-JOSEPH 2003: 101).

Die vorherrschende, starke hierarchische Gliederung des Verkehrswegenetzes wird inzwischen vielfach kritisiert, da sie stark auf den MIV zugeschnitten und für andere Verkehrsmittel kaum geeignet und somit wenig zukunftstauglich ist. Dennoch wird eine hierarchische Gliederung der Verkehrswege in einem gewissen Rahmen, auch für nichtmotorisierte Verkehrsmittel, als sinnvoll und notwendig erachtet (vgl. MARSHALL 2005: 35f).

4.5 Der Einfluss von Verkehrswegemustern

Der Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko, welcher im Rahmen dieser Arbeit untersucht wird, wurde bereits in einigen Studien aus Nordamerika auf unterschiedlichen Wegen erforscht. Schwerpunktmäßig wird die entsprechende Forschung seit einigen Jahren auf der University of Calgary in Kanada betrieben, weshalb sich auch viele der Studien auf die Stadt Calgary und deren Verkehrsunfallgeschehen beziehen.

Die erste Untersuchung zum Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen erstellte MARKS bereits im Jahr 1957, wo er feststellte, dass sich in Los Angeles an Kreuzungen des in Nordamerika traditionellen, rechtwinkelig gerasterten Verkehrswegemusters deutlich mehr Unfälle ereigneten als an Kreuzungen der neuen Verkehrswegemuster in den weitflächigen Suburbs mit ihren Loops-and-Lollipops-Strukturen. Insbesondere stellten sich in dieser Studie T-Kreuzungen als deutlich sicherer heraus als X-Kreuzungen (vgl. SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH 2003: 100), was MARSHALL

(2005: 38) damit erklärt, dass es an T-Kreuzungen eine deutlich geringere Zahl an möglichen Kreuzungskonflikten, und damit an möglichen potentiellen Verkehrsunfallstellen gibt als bei x-förmigen Kreuzungen. Allerdings zog Marks für seine Studie nur die absolute Zahl an Verkehrsunfällen an den Kreuzungen heran, und berücksichtigte weder das Verkehrsaufkommen noch jene Verkehrsunfälle, die sich nicht an Kreuzungen ereigneten. Dennoch war diese Studie sehr einflussreich und diente oft auch als Legitimation für die großflächige Realisierung der hierarchischen Verkehrswegemuster (vgl. SOUTHWORTH UND BEN-JOSEPH 2003: 100).

Die erste Studie aus Calgary zu dem Thema stammt von RIFAAT UND TAY aus dem Jahr 2009. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und Schwere von Verkehrsunfällen mit Personenschaden mit einer Beteiligung von mindestens zwei Fahrzeugen anhand eines logistischen Regressionsmodells, wobei eine Vielzahl an Kontrollvariablen berücksichtigt wurde. Die Klassifizierung der Verkehrswegemuster erfolgte, wie auch bei den nachfolgenden Studien, nach eigenem Ermessen und auf Basis politischer Grenzen. Die Autoren konnten dabei ein geringeres Verkehrsunfallrisiko bei den Loops-and-Lollipops-Verkehrswegemustern der Suburbs gegenüber den rechtwinkligen Straßenrastern ausmachen, wobei der Unterschied nur leicht signifikant war (vgl. RIFAAT UND TAY 2009a).

Im selben Jahr publizierten dieselben Autoren eine weitere Studie (vgl. RIFAAT UND TAY 2009b) mit einer ähnlichen Fragestellung, welche neben der Schwere auch die Häufigkeit der Verkehrsunfälle berücksichtigte, wobei die Untersuchung des Zusammenhangs mit dem Verkehrswegemuster anhand einem negativen Binomialmodell bewerkstelligt wurde. Sie kamen hier zu einem ähnlichen Ergebnis, wonach verzerrt parallele Verkehrswegemuster sowie Loops-and-Lollipops-Muster signifikant sicherer sind als rechtwinklige Rastermuster.

Im Jahr darauf veröffentlichten RIFAAT, TAY und DE BARROS (vgl. 2010) eine Studie, welche die Auswirkungen des Verkehrswegemusters in Calgary auf jenes Risiko analysierte, dass nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer in Unfälle mit motorisierten Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern verwickelt werden. Dabei stellte sich nur ein einziger Zusammenhang als statistisch signifikant heraus, und zwar jener, wonach Loops-and-Lollipops-Muster die Schwere der entsprechenden Verkehrsunfälle reduzieren. Die Ergebnisse der übrigen Mustertypen, sowie die jeweiligen Zusammenhänge zur Anzahl der Verkehrsunfälle, waren nicht signifikant.

Zu anderen Ergebnissen kam die ebenfalls von RIFAAT, TAY und DE BARROS durchgeführte Studie (vgl. 2012a), welche die Auswirkungen des Verkehrswegemusters von Calgary auf das Unfallgeschehen von Motorradfahrerinnen und -fahrern untersuchte. Demnach ist das rechtwinklige Straßenraster für diese Gruppe am sichersten. Alle anderen Verkehrswegemuster sind statistisch gesehen unsicherer, wobei dieser Unterschied nur im Fall des Loops-and-Lollipops-Musters signifikant ist.

RIFAAT, TAY und DE BARROS untersuchten außerdem die Auswirkungen des Verkehrswegemusters auf das Unfallgeschehen zwischen Fahrzeugen und Fußgängerinnen und Fußgängern (vgl. 2012b). Auch hierbei wurde festgestellt, dass die Unfallhäufigkeit und -schwere bei den Loops und Lollipops der Suburbs höher ist als beim traditionellen

rechtwinkligen Straßenraster, während sich beim verzerrt parallelen und gemischten Verkehrswegemuster kein signifikanter Unterschied ergab.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass bereits der sehr einfache Vergleich zwischen traditionellen rechtwinkligen Verkehrswegemustern und modernen, hierarchischen Loops- und Lollipop-Mustern - je nach Studie und konkreter Fragestellung - sehr unterschiedliche Ergebnisse liefert. In der Literatur finden sich gleichermaßen Studien, welche das rechtwinklige Muster als sicherer einstufen, als auch solche, welche dies über die modernen Muster aussagen. Die Ergebnisse der Forschung an der University of Calgary lassen sich auch insofern zusammenfassen, als dass das Loops-and-Lollipops-Muster für den ZMIV sicherer ist als das rechtwinklige Muster, dies für Fußgängerinnen und Fußgänger sowie für den EMIV allerdings umgekehrt gilt.

Die Studienautoren haben sich jeweils Gedanken dazu gemacht, auf welche Weise die Verkehrswegemuster Auswirkungen auf das Verkehrsunfallgeschehen haben. Die Risikokompensation macht es allerdings schwierig, eindeutige Aussagen zu treffen, da ein Sicherheitsargument für ein Verkehrswegemuster genauso gut ein Gegenargument dafür sein kann, da die objektive Sicherheit eine Erhöhung der subjektiven Sicherheit bewirken, und diese wiederum zu riskanterem Verkehrsverhalten verleiten kann.

RIFAAT UND TAY (vgl. 2009b: 249) stellen eine Vermutung für das in ihren allgemeinen Studien ermittelte niedrigere Verkehrsunfallrisiko in den Loops- und Lollipops-Verkehrswegemustern auf, wonach die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer diese Gebiete stärker als Wohngebiete wahrnehmen als Gebiete mit anderen Verkehrswegemustern, und daher entsprechend der Risikokompensationstheorie eine relativ niedrige Geschwindigkeit wählen. Die beiden Autoren (vgl. RIFAAT UND TAY 2009a: 65) kamen auch zum Ergebnis, dass auf Richtungsfahrbahnen, wie sie eher im rechtwinkligen Straßenraster vorkommen als in den suburbanen Strukturen, ein deutlich höheres Verkehrsunfallrisiko vorliegt als auf nicht getrennten Verkehrswegen, da die subjektive Sicherheit bei getrennten Richtungsfahrbahnen höher ist und daher ein höheres Tempo gewählt wird.

Auf der anderen Seite gibt es auch Argumente, wonach ein rechtwinkliges Verkehrswegemuster sicherer wäre als ein hierarchisches. Einerseits sei die Sicht bei geradlinigen Verkehrswegen besser als bei modernen, kurvenreichen Verkehrswegemustern, was das Verkehrsunfallrisiko reduziert – was mithilfe der Risikokompensationstheorie allerdings auch als Gegenargument verwendet werden kann. Außerdem kann die geringere hierarchische Gliederung des rechtwinkligen Verkehrswegemusters im Vergleich zu den modernen Formen aufgrund der Risikokompensation dazu führen, dass die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer ein niedrigeres Tempo wählen, was das Verkehrsunfallrisiko senkt. Im Zusammenhang mit der Studie zur Sicherheit von Motoradfahrerinnen und -fahrern stellen RIFAAT, TAY und DE BARROS (vgl. 2012a) die Vermutung an, dass für diese Gruppe das Loops- und Lollipops-Muster auch deshalb unsicherer ist als das rechtwinklige Muster, da Bremsmanöver des EMIV auf kurvenförmig verlaufenden Verkehrswegen eher zu Stürzen führen als auf geradlinigen Verkehrswegen.

Allen bisherigen Studien zum Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko ist gemein, dass die Klassifizierung der Verkehrswegemuster jeweils

nach subjektivem Ermessen, meist durch die Studienautorinnen und -autoren selbst, erfolgte. RIFAAT UND TAY (vgl. 2009b) haben diese Einteilung zusätzlich durch Verkehrsingenieurstudentinnen und -studenten validieren lassen. Hier ist allerdings anzumerken, dass sich die Verkehrswegemuster von Calgary und anderen nordamerikanischen Städten relativ eindeutig wenigen Grundtypen zuordnen lassen, während Verkehrswegemuster in europäischen Städten meist deutlich heterogener und komplexer sind. Eine ähnliche, auf subjektivem Ermessen erfolgende Zuordnung auf Wien anzuwenden, wäre also nur bedingt reproduzierbar. Nicht zuletzt deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit die Methode gewählt, die Verkehrswegemuster automatisiert mithilfe eines GIS zu klassifizieren, um anschließend den Zusammenhang mit dem Verkehrsunfallgeschehen berechnen zu können.

4.6 Unmittelbare Verkehrsunfallursachen

Während sich die bisher in diesem Kapitel beschriebenen Sachverhalte mit den Einflüssen befasst haben, welche zur Erhöhung oder Senkung des Verkehrsunfallrisikos führen, werden in diesem Unterkapitel die unmittelbaren Verkehrsunfallursachen erörtert.

In der Unfalldatenbank (vgl. STATISTIK AUSTRIA 2016a) wurde für jeden Unfall jene Ursache angegeben, welche die Polizeiorgane als Hauptunfallursache einschätzten (vgl. Tabelle 1). Demnach ist Unachtsamkeit bzw. Ablenkung die Hauptursache für 36,9 % aller Unfälle in Wien. Die zweithäufigste Ursache sind Vorrangverletzungen mit 23,5 %. Dahinter folgen mangelhafter Sicherheitsabstand mit 6,1 %, Fehlverhalten von Fußgängern mit 5,1 %, Missachtung von Geboten und Verboten mit 3,2% und nicht angepasste Geschwindigkeit mit 2,8 %. Bei 18,2 % der Unfälle wurden keine Hauptunfallursache angegeben.

Bei den beiden mit Abstand am häufigsten Unfallursachen – Unachtsamkeit / Ablenkung und Vorrangverletzung - ist auffällig, dass erstere vor allem auf höherrangigen Straßen vorkommt, während zweitere insbesondere im niederrangigen Straßennetz anzutreffen ist.

Hauptunfallursache	Anzahl der Unfälle	Anteil
Unachtsamkeit/Ablenkung	2.155	36,9 %
Vorrangverletzung (auch gegenüber Fußgängern), Rotlichtmissachtung	1.376	23,5 %
mangelhafter Sicherheitsabstand	357	6,1 %
Fehlverhalten von Fußgänger	297	5,1 %
Missachtung von Geboten und Verboten (z.B. Fahren gegen die Einbahn, Abbiegeverbote, Abbiegegebote)	188	3,2 %
Nichtangepasste Geschwindigkeit	166	2,8 %
Überholen	99	1,7 %
Alkohol, Drogen oder Medikamente	94	1,6 %
Technischer Defekt, mangelnde Ladungssicherung	20	0,3 %
Hindernisse auf der Fahrbahn (Gegenstände, ungesicherte Fahrzeuge)	13	0,2 %
Herz-/Kreislaufversagen	12	0,2 %
Übermüdung	8	0,1 %
keine Angabe	1.052	18,1 %
Gesamt	5837	100 %

Tabelle 1: Unfälle mit Personenschaden nach Hauptunfallursache (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2016a; Eigene Erstellung)

4.7 Die räumliche Verteilung von Verkehrsunfällen

Obwohl die empirische Verteilung von Verkehrsunfällen immer in einer gewissen Weise zufällig ist, kann sie doch deutliche Muster und Tendenzen aufweisen und von bestimmten Faktoren beeinflusst werden.

Intuitiv nachvollziehbar ist, dass ein höheres Verkehrsaufkommen zu einer höheren Anzahl an Verkehrsunfällen führt. Auf großer Maßstabsebene kommt es auf stark befahrenen Verkehrswegen im Schnitt zu mehr Unfällen als auf wenig befahrenen Verkehrswegen. Auf kleinerer Maßstabsebene gibt es in Ballungsräumen beispielsweise mehr Verkehrsunfälle als in peripheren Gebieten.

Um Zusammenhänge zu erhalten, die unabhängig vom Verkehrsaufkommen sind, müssen daher die Verkehrsunfälle in Relation zum Verkehrsaufkommen gesetzt werden. Der resultierende Wert wird auch als Verkehrsunfallrisiko bezeichnet. Oft wird das Verkehrsunfallrisiko mithilfe der Bayesschen Statistik geschätzt, wie etwa bei LI ET AL. (vgl. 2007).

Mithilfe von GIS-basierten räumlichen Analysen lassen sich räumliche Verteilungen von Verkehrsunfällen und deren Ursachen detailliert bestimmen. PRASANNAKUMAR ET AL. (vgl. 2011: 320-324) haben die Clusterung und die Hotspots von Verkehrsunfällen in der indischen Stadt Thiruvananthapuram mithilfe eines GIS untersucht, und dabei etwa festgestellt, dass die Hotspots sehr unterschiedlich verteilt sind – je nachdem, ob man etwa die Monsunzeit oder die Zeit ohne Monsun, bzw. die Nähe zu religiösen Einrichtungen oder die Nähe zu Bildungseinrichtungen in der Analyse berücksichtigt.

LI ET AL. (vgl. 2007) untersuchten das Verkehrsunfallrisiko einzelner Verkehrswegesegmente in Harris County in Texas. Ziel dieser Studie war es ebenfalls, konkrete Orte und Tageszeiten bzw. Wochentage mit hohem Verkehrsunfallrisiko zu identifizieren, um diese als Entscheidungsgrundlage für verkehrspolitische Maßnahmen verwenden zu können. Dabei wurde insbesondere zwischen verschiedenen Straßentypen und dem damit verbundenen verschiedenen Verkehrsaufkommen, sowie zwischen den jeweiligen Fahrtrichtungen unterschieden.

STEENBERGEN ET AL. (vgl. 2004) haben untersucht, ob sich eindimensionale, linienhafte oder zweidimensionale, flächenhafte Methoden besser zur GIS-basierten Clusterung von Unfallstellen eignen. Dabei fanden sie heraus, dass sich die eindimensionalen Methoden besser zur Analyse von hierarchischen Verkehrswegemustern eignen, während zweidimensionale Methoden gut für Gebiete mit hoher Verkehrswegedichte und einem relativ gleichmäßig verteilten Verkehrsaufkommen geeignet sind, wie etwa im Fall von rasterförmigen Verkehrswegemustern.

4.8 Die zeitliche Verteilung von Verkehrsunfällen

Die in diesem Unterkapitel präsentierten Daten zur zeitlichen Verteilung von Verkehrsunfällen beziehen sich wiederum auf die Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien 2015 (vgl. STATISTIK AUSTRIA 2016a). Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, weisen die Wochentage Montag bis Freitag allesamt eine ähnliche Durchschnittszahl an Unfällen mit Personenschaden auf (17,5 bis 19,1), während diese Zahl an Samstagen und Sonntagen deutlich geringer ist (12,7 bzw. 8,7). Allerdings ist auch das Verkehrsaufkommen an diesen Tagen geringer, sodass diese Daten lediglich eine Aussage über die Anzahl von Verkehrsunfällen, nicht aber über das Verkehrsunfallrisiko machen.

Betrachtet man die Entwicklung der Verkehrsunfälle im Jahresverlauf (vgl. Tabelle 3), so ist ein deutlicher Anstieg der Verkehrsunfallzahlen während der Sommermonate zu bemerken. In den Monaten April bis Oktober passieren demnach durchschnittlich mehr als 16,0 Unfälle pro Tag, während es im Zeitraum von November bis März durchgehend weniger als 16,0 Verkehrsunfälle pro Tag sind. Der höchste Wert wird dabei im Juni erreicht mit 20,8, der geringste Wert dagegen im Jänner mit 10,8 Verkehrsunfällen pro Tag.

Wochentag	Unfälle an diesem Wochentag im Gesamtjahr	Tagesanzahl dieses Wochentags 2015	Unfälle an diesem Wochentag im Tagesdurchschnitt
Montag	956	52	18,4
Dienstag	915	52	17,6
Mittwoch	908	52	17,5
Donnerstag	951	53	17,9
Freitag	994	52	19,1
Samstag	660	52	12,7
Sonntag	453	52	8,7
Gesamt	5837	365	16,0

Tabelle 2: Verteilung der Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien 2015 auf die einzelnen Wochentage (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2016a; Eigene Erstellung)

Monat	Unfälle in diesem Monat	Anzahl der Tage in dem Monat	Unfälle in diesem Monat im Tagesdurchschnitt
Jänner	334	31	10,8
Februar	340	28	12,1
März	428	31	13,8
April	538	30	17,9
Mai	565	31	18,2
Juni	623	30	20,8
Juli	558	31	18,0
August	501	31	16,2
September	532	30	17,7
Oktober	557	31	18,0
November	473	30	15,8
Dezember	388	31	12,5
Gesamt	5837	365	16,0

Tabelle 3: Verteilung der Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Wien 2015 auf die einzelnen Monate (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2016a; Eigene Erstellung)

5 Methodik

In diesem Kapitel soll ausführlich auf die methodische Vorgangsweise der Untersuchung eingegangen werden. Ziel der Untersuchung ist das Ermitteln des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen. Um diesen Einfluss analysieren zu können, sind eine Reihe von Zwischenschritten nötig. Abbildung 13 gibt einen Überblick über die einzelnen Schritte der Untersuchung, deren Zusammenwirkung sowie die jeweils hauptsächlich verwendete Software.

Am Beginn der Untersuchung stehen die Datengrundlagen zu Verkehrswegen, Verkehrsunfallgeschehen und Verkehrsaufkommen, welche im ersten Unterkapitel beschrieben werden. Auf Basis der Daten zu den Verkehrswegen werden räumliche Bezugsflächen in Form von Rasterzellen realisiert, worauf im zweiten Unterkapitel eingegangen wird. Diese werden jeweils in einer Form aufbereitet, dass sie für die folgenden Untersuchungsschritte verwendet werden können, was im dritten Unterkapitel beschrieben wird. Hier wird ebenfalls auf die räumliche Aggregierung der Daten auf die Rasterzellen eingegangen. Das vierte Unterkapitel beschreibt die Ermittlung geometrischer und topologischer Kennzahlen zur Charakterisierung des Verkehrswegemusters einzelner Rasterzellen. Anhand dieser Kennzahlen werden die Verkehrswegemuster anschließend mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes, bestehend aus Faktor- und Clusteranalyse, klassifiziert, was im fünften Unterkapitel beschrieben wird. Das sechste Unterkapitel geht auf die Berechnung des Verkehrsunfallrisikos ein, bei welchem die Anzahl an Verkehrsunfällen in Beziehung zum jeweiligen Verkehrsaufkommen gesetzt wird. Die Berechnung erfolgt dabei sowohl allgemein, als auch für beide Geschlechter sowie für die einzelnen Verkehrsmittel getrennt. Die Berechnung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko erfolgt im siebenten Unterkapitel mittels Varianzanalyse.

Eine erste, manuelle Aufbereitung der Verkehrswegedaten erfolgt mit der GIS-Software ArcMap von ESRI. Die Realisierung räumlicher Bezugsflächen, ein großer Teil der Aufbereitung der Verkehrswegedaten sowie die automatisierte Klassifikation der Verkehrswegemuster erfolgt vollständig und automatisiert mithilfe eines in ArcMap ausgeführten Python-Skripts, welches sich der Funktionalitäten des ArcPy-Moduls von ESRI bedient und in Anhang I dieser Arbeit angeführt ist. Ein weiteres Python-Skript dient der räumlichen Aggregierung des Verkehrsunfallgeschehens, der Datenaufbereitung und Interpolation des Verkehrsaufkommens sowie der Berechnung des Verkehrsunfallrisikos. Das entsprechende Skript kann Anhang II entnommen werden. Alle übrigen Schritte – Aufbereitung der Verkehrsunfalldaten, Faktor- und Clusteranalyse sowie die Berechnung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko, werden hauptsächlich mithilfe der Statistiksoftware SPSS von IBM umgesetzt.

Als Untersuchungsgebiet wird ein städtisches Gebiet herangezogen, da davon ausgegangen wird, dass in ländlichen Gebieten aufgrund der geringen Verkehrswegedichte kein signifikanter Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko erwartet werden kann. Nachdem diese Masterarbeit an der Universität Wien verfasst wurde, ist es naheliegend, die Stadt Wien als Untersuchungsgebiet zu verwenden - insbesondere, da dadurch ein hohes räumliches Vorwissen über das Untersuchungsgebiet vorhanden und die

Beschaffung der Datengrundlagen und die Arbeit mit diesen einfach zu bewerkstelligen war. Allerdings wird davon ausgegangen, dass das Ergebnis der Analyse in jedem anderen städtischen Untersuchungsgebiet auf ähnliche Weise reproduziert werden kann.

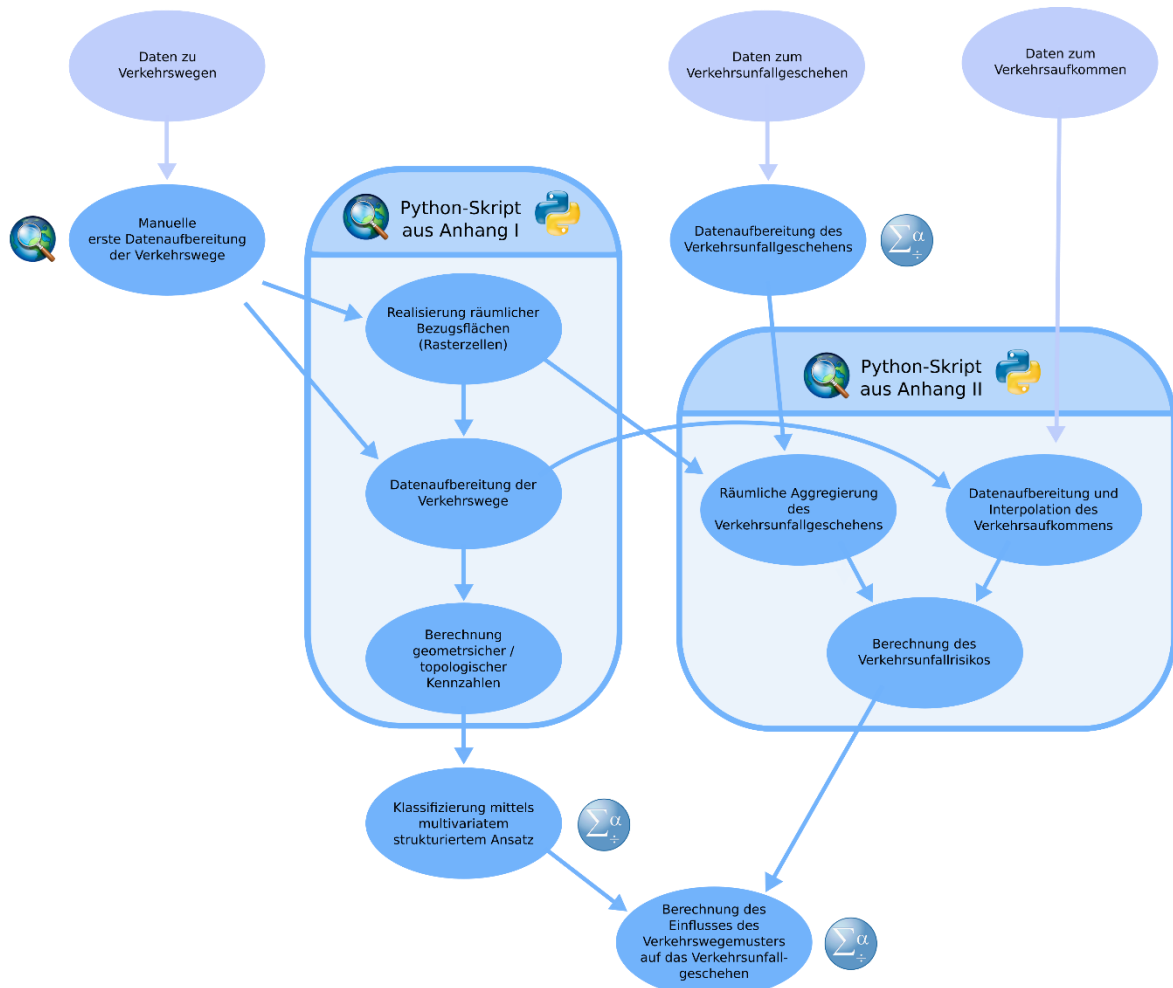


Abbildung 13: Ablaufdiagramm der Untersuchung (Eigene Erstellung)

5.1 Datengrundlagen

In diesem Unterkapitel sollen die Datengrundlagen angeführt und beschrieben werden, welche für diese Untersuchung herangezogen werden.

5.1.1 Datengrundlage für das Verkehrswegenetz

Als Datengrundlage für das Verkehrswegenetz wird der von der MA 21 im Open-Gouvernement-Data-Portal der Stadt Wien bereitgestellte Straßengraph der Stadt Wien herangezogen (vgl. MAGISTRATSABTEILUNG 21 2016). Dies ist ein topologischer Graph, welcher alle öffentlichen, mit KFZ befahrbaren Verkehrswege exklusive Autobahnen und

Schnellstraßen enthält, sowie eine Vielzahl von Fuß- und Radwegen - allerdings bei weitem nicht vollständig.

Das Verkehrswegenetz ist darin grundsätzlich in Form einzelner Abschnitte erfasst, die jeweils den Verkehrsweg zwischen zwei Kreuzungen darstellen. Die Netzknoten befinden sich jeweils in den Kreuzungsmittelpunkten, die Netzlinien verlaufen im Regelfall entlang der Straßenachse.

Da die Fuß- und Radwege nur ausschnittsweise erfasst sind, werden diese nicht in der Analyse berücksichtigt. Es werden daher nur jene Verkehrswege entfernt, deren Kategorieattribut Radweg, Fußweg oder Treppe war. Damit umfasst der verwendete Verkehrswegedatensatz nur noch die öffentlichen, mit KFZ befahrbaren Verkehrswege. Allerdings trifft diese Beschreibung nicht uneingeschränkt zu, da beispielsweise auch die für KFZ gesperrte Prater Hauptallee in dem Datensatz enthalten ist.

Rad- und Fußwege ebenso wie Autobahnen und Schnellstraßen unberücksichtigt zu lassen, ist insofern berechtigt, da im Jahr 2015 in Wien 96,2 % aller Unfälle auf den verbleibenden Verkehrswegen (genauer: innerhalb eines 40-Meter-Puffers rund um die Linienfeatures der verbleibenden Verkehrswege) passierten, und nur 3,8 % außerhalb. Von diesen entfallen wiederum 2,6 Prozentpunkte auf Autobahnen und Schnellstraßen, welche aufgrund der angenommenen Unabhängigkeit des Verkehrswegemusters auf das dortige Verkehrsunfallgeschehen das Ergebnis ohnehin nur verzerren würden, was es durchaus rechtfertigt, auf deren Berücksichtigung zu verzichten. Alle übrigen Verkehrswege (öffentliche Privatstraßen, Radwege, Fußwege, etc.) weisen mit 1,2 % aller Verkehrsunfälle ein vergleichsweise sehr geringes Verkehrsunfallrisiko auf und ihre Berücksichtigung würde das Ergebnis daher allenfalls verzerren.

Der Verkehrswegegraph wurde zwar aus Verfügbarkeitsgründen in seiner aktuellen Fassung (Stand August 2016) bezogen, und stimmt damit in zeitlicher Hinsicht nicht exakt mit dem Erfassungszeitraum der verwendeten Verkehrsunfalldaten von 1.1. bis 31.12.2015 überein. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass es in den wenigen Monaten keine signifikanten Änderungen im Wiener Verkehrswegenetz gegeben hat.

5.1.2 Datengrundlage für das Verkehrsunfallgeschehen

Die Erhebung bezieht, wie bereits in der Einleitung erwähnt, ausschließlich Verkehrsunfälle mit Personenschaden in die Untersuchung mit ein, da diese im Gegensatz zu Verkehrsunfällen mit reinem Sachschaden meldepflichtig sind und damit (theoretisch) vollständig erfasst sind.

Georeferenzierte Daten zu Verkehrsunfällen mit Personenschäden, welche eine Reihe unfallbezogener Attribute wie Unfalltyp, Unfallursache, Unfallzeit und beteiligte Verkehrsmittel enthalten, wurden von der STATISTIK AUSTRIA für die Erstellung dieser Masterarbeit bereitgestellt (vgl. 2016a). Diese beziehen sich auf das Jahr 2015, d. h. auf den Zeitraum von 1.1.2015 bis 31.12.2015.

Die Statistik Austria verwaltet Verkehrsunfalldaten mithilfe des Unfalldatenmanagements (UDM). Hier sind jene Verkehrsunfalldaten gesammelt, welche die Exekutivorgane an der jeweiligen Unfallstelle aufnehmen. Sie umfassen die vier Entitäten „Unfall“, „Ort“,

„Beteiligung“ und „Person“. Dabei sind jedem Verkehrsunfall ein Ort (bzw. bei Unfällen auf Kreuzungen auch zwei Orte) und eine oder mehrere Beteiligungen zugeordnet, wobei eine Beteiligung entweder einer Fußgängerin, einem Fußgänger oder einem Fahrzeug entspricht. Jeder Beteiligung sind wiederum eine oder mehrere Personen zugeordnet – also die unfallbeteiligte Fußgängerin, der unfallbeteiligte Fußgänger, bzw. alle Insassen eines unfallbeteiligten Fahrzeugs. Als unfallbeteiligt gilt jede Person, die bei einem Verkehrsunfall selbst verletzt wurde, die sich zum Unfallzeitpunkt mit einer anderen verletzten Person im gemeinsamen Fahrzeug befand, bzw. durch ihr Verhalten maßgeblich zum Zustandekommen des Unfalls beigetragen hat (vgl. STATISTIK AUSTRIA 2016b; INSTITUT FÜR VERKEHRSWESSEN 2010: 6).

Die Qualität dieser Daten ist als sehr hoch einzustufen. Zwar fehlen bei vielen Unfällen einzelne Attribute, wie z.B. Angaben zum Hauptverursachenden, allerdings sind alle relevanten Attribute stets enthalten, insbesondere auch – was für diese Untersuchung besonders entscheidend ist – die räumliche Position.

5.1.3 Datengrundlage für das Verkehrsaufkommen

Daten zum Verkehrsaufkommen werden für die Analyse benötigt, um dieses aus den absoluten Unfallzahlen herausrechnen zu können und damit das tatsächliche Verkehrsunfallrisiko zu bestimmen. Als Quelle werden die Daten der Straßenverkehrszählung 2010 herangezogen (vgl. MAGISTRATSABTEILUNG 18 2016). Zwar stehen auch aktuellere Daten der Dauermessstellen aus dem Jahr 2016 zur Verfügung, allerdings sind hierbei nur 63 Messstellen vorhanden, während es bei den Daten der Straßenverkehrszählung 2010 insgesamt 196 Messstellen sind. Diese setzen sich aus 159 temporären Zählstellen in Form von Zählplatten sowie aus damals 37 Dauermessstellen zusammen (vgl. VERKEHRSPANUNG KÄFER GMBH 2011: 2ff). Auch wenn diese Verkehrszählungsdaten fünf Jahre älter sind als die Daten zum Verkehrsunfallgeschehen, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Verteilung des Verkehrsaufkommens nicht wesentlich geändert hat. Die Datengrundlage muss als bestmöglicher Kompromiss aus Aktualität und Detailliertheit angesehen werden. Denn obwohl Straßenverkehrszählungen dieses Umfangs fünfjährig durchgeführt werden, stehen die Ergebnisse der Straßenverkehrszählung 2015 entgegen anderslautender Ankündigungen (vgl. STADTENTWICKLUNG WIEN 2015) bis heute nicht öffentlich zur Verfügung (Stand: Jänner 2017).

Die Messungen bilden Jahresdurchschnittswerte auf Basis von ganzjährigen Zählungen rund um die Uhr, und können damit als hochqualitativ eingestuft werden. Sie wurden für beide Richtungen getrennt erhoben und sind in verschiedene Gruppen von Fahrzeuglängen aufgeteilt. Außerdem werden die Ergebnisse für die jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (JDTV) getrennt nach dem Gesamtdurchschnitt und dem Werktagsdurchschnitt angeführt (vgl. VERKEHRSPANUNG KÄFER GMBH 2011: 2).

5.2 Realisierung räumlicher Bezugsflächen

Um die Untersuchung durchführen zu können, müssen im Untersuchungsgebiet zuerst räumliche Bezugsflächen realisiert werden. Die Analyseergebnisse sind immer abhängig von der Bezugsflächenwahl, und aus der Verwendung verschiedener Bezugsflächen können sehr unterschiedliche Muster und Ergebnisse resultieren, wie im Zusammenhang mit dem MAUP bereits erörtert wurde (vgl. Kapitel 2.4).

Jedenfalls sollen die Bezugsflächen möglichst klein gehalten werden, um das Gebiet möglichst detailgetreu und typisch abzubilden (vgl. FISCHER UND WANG 2011: 18). Allerdings ergibt sich bei der vorliegenden Thematik der Verkehrswegemuster das Problem, dass zu kleine räumliche Bezugseinheiten keine Muster mehr repräsentieren, da viele Mustereigenschaften erst ab einer bestimmten räumlichen Größe identifizierbar werden.

Daher werden Rasterzellen als räumliche Bezugsbasis verwendet, welche eine Seitenlänge von 1.000 Meter aufweisen. Die Größe wurde so gewählt, dass die Zellen zwar ausreichend klein sind, um lokale Eigenheiten zu behalten, aber dennoch nicht zu klein, um eine gewisse Mindestmenge an Verkehrswegen und Blöcken zu enthalten.

Auf diesen Festlegungen aufbauend umfasst das Untersuchungsgebiet jene Teile des Stadtgebiets von Wien, welche vollständig innerhalb einer Zelle mit 1.000 Metern Maschenweite eines Rasters liegen, welcher im verwendeten Bezugssystem Web Mercator Auxiliary Sphere aufgespannt wird. Die Berechnung der enthaltenen Rasterzellen erfolgt im entsprechenden Skript (vgl. Anhang I) automatisiert und abhängig vom jeweiligen Verkehrswegenetz, weshalb das Skript auch für die Klassifizierung der Verkehrswegenetze anderer Städte und Gebiete verwendet werden kann, und das Raster entsprechend der räumlichen Ausdehnung des Verkehrswegenetzes angelegt wird.

Ein Nachteil der Rasterzellen gegenüber einer weiteren plausiblen Möglichkeit, räumliche Bezugsflächen zu schaffen, indem diese anhand des höherrangigen Verkehrsnetzes voneinander abgetrennt werden, ist, dass dadurch zwangsläufig Blöcke durchtrennt werden. Bei der Methode zur Abgrenzung anhand des Verkehrsnetzes ergibt sich allerdings ein anderes, vermutlich schwerwiegenderes Problem, dass die einzelnen Bezugsflächen stark unterschiedliche Größen aufweisen würden, was jedenfalls zu verzerrten Ergebnissen bei der Bestimmung von Mustern führen würde. Diese müssten zumindest noch manuell nachbearbeitet und zusammengelegt oder getrennt werden, um annähernd ähnlich große Flächen zu erhalten.

5.3 Datenaufbereitung

Ich habe für die gesamte Untersuchung Web Mercator Auxiliary Sphere (EPSG 3857) als Bezugssystem gewählt, um mir eine eventuelle Veröffentlichung der Ergebnisse als Webmap-Applikation offenzuhalten, wofür meist diese Projektion notwendig ist. Sämtliche Inputdaten werden vor ihrer erstmaligen Verwendung in dieses System transformiert.

5.3.1 Aufbereitung der Verkehrswegedaten

Der Straßengraph der Stadt Wien wurde als Datengrundlage für die Verkehrswege gewählt, da er im Allgemeinen eine gute Datenqualität aufweist, sowohl was die Lagegenauigkeit betrifft, als auch bezüglich der Vollständigkeit und Aktualität der Verkehrswegedaten. Dennoch wurden im Zuge der Begutachtung der Daten einzelne Mängel festgestellt, die im Rahmen der anschließenden Datenaufbereitung so gut wie möglich beseitigt werden. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die qualitativen Probleme des Datensatzes und deren Bereinigung gegeben werden.

Die Bereinigung umfasst dabei manuelle sowie automatisierte Schritte. Einige Aufbereitungsschritte der Verkehrswegedaten, welche sich nur schwer oder nicht ausreichend qualitativ automatisieren lassen, werden zuerst manuell mittels der Software ArcMap durchgeführt. Hierzu zählt insbesondere die Beseitigung von unsauber gesnappten Kreuzungspunkten. Dies hat zur Folge, dass sich Verkehrswegesegmente in einer Kreuzung oft nicht genau in einem Punkt treffen (vgl. Abbildung 14, oben rechts).

Ein weiteres Problem, das keinen Qualitätsmangel beschreibt, aber im Rahmen der Untersuchung nicht erwünscht ist, ist die mehrfach parallele Digitalisierung von Verkehrswegen, etwa bei einer Aufgliederung in Haupt- und Nebenfahrbahnen (vgl. Abbildung 14, mittig links). Auch diese Bereinigung wird manuell vorgenommen (vgl. Abbildung 14, mittig rechts), da die automatisierte Alternative, das Tool „Merge Divided Roads“, keine ausreichend zufriedenstellenden Ergebnisse liefert.

Eine weitere manuelle Aufbereitung erfolgt in Form der Umwandlung von Kreisverkehren, welche rund ausdigitalisiert sind, in Kreuzungen. Dies hat den Hintergrund, dass der Kreisverkehr sonst aus so vielen Kreuzungen bestehen würde, wie Segmente in ihm zusammentreffen, obwohl ein Kreisverkehr im Normalfall als eine einzige Kreuzung wahrgenommen wird. Ausgenommen hiervon habe ich aus Dimensionsgründen die beiden besonders großen Kreisverkehre Praterstern und Verteilerkreis, welche daher weiterhin aus vielen Einzelkreuzungen bestehen.

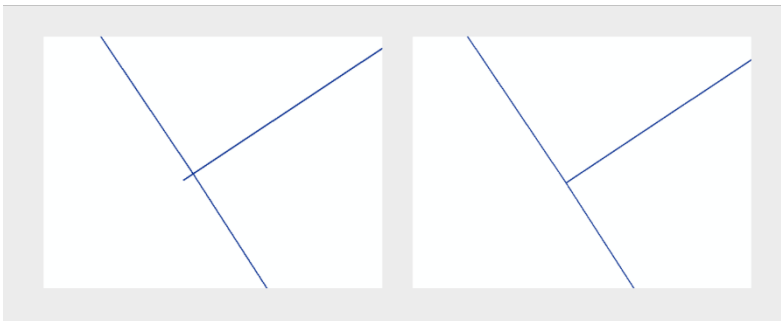
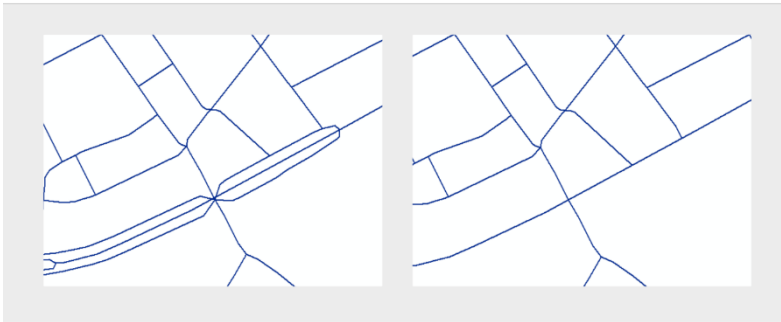
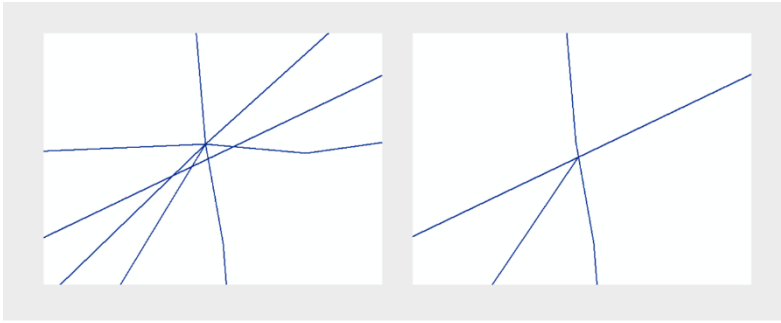


Abbildung 14: Digitalisierungsungenauigkeiten im Straßengraphen der Stadt Wien (jeweils links) und deren Verbesserung (jeweils rechts): Verkehrswege treffen sich nicht genau in einem Punkt (oben), sind mehrfach parallel digitalisiert (mittig) oder enden nicht genau an der Kreuzung (unten) (Eigene Erstellung)

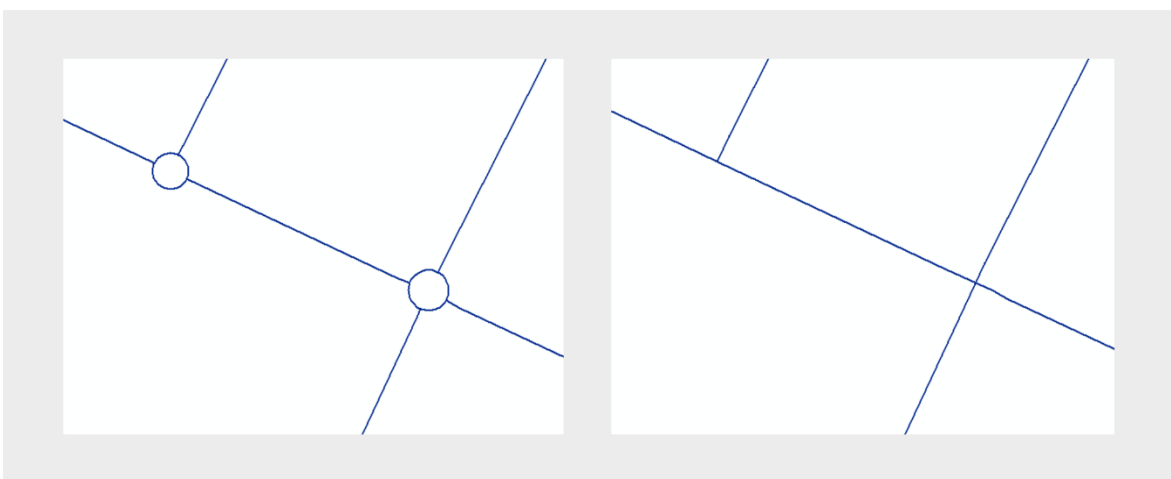


Abbildung 15: Umwandlung von Kreisverkehren (links) in Kreuzungen (rechts) (Eigene Erstellung)

In Abbildung 16 ist der Unterschied zwischen dem Originaldatensatz und dem manuell angepassten Datensatz anhand eines Ausschnitts zu sehen, wobei die entfernten und geänderten Abschnitte blau dargestellt sind und der für die weitere Untersuchung verwendete Datensatz braun. Wahrnehmbare Unterschiede umfassen insbesondere die Entfernung von Rad- und Fußwegen, die Vereinfachung von Kreisverkehren sowie die Vereinigung von parallelen Verkehrswegesegmenten.

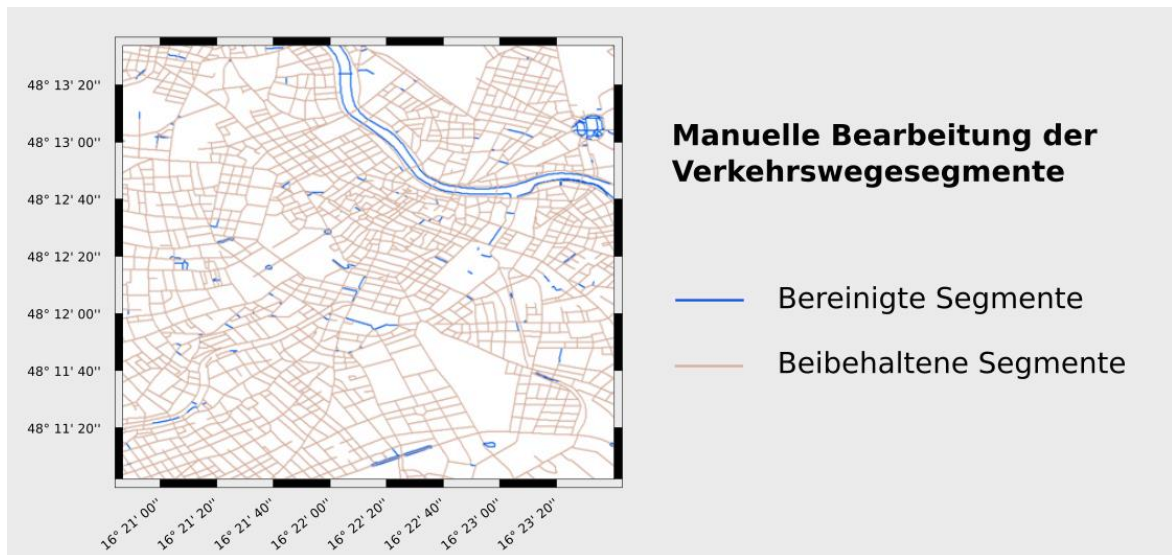


Abbildung 16: Ergebnis der manuellen Bearbeitung (braun) und ursprünglich enthaltene, entfernte oder geänderte Segmente (blau) am Beispiel der Wiener Innenstadt (Eigene Erstellung)

Im Anschluss an die manuelle Aufbereitung erfolgt die automatisierte Aufbereitung des Verkehrswegedatensatzes mittels Python-Skript (vgl. Anhang I). In dieses werden jene Aufbereitungsschritte integriert, deren Automatisierung einen geringeren Aufwand verursacht als eine manuelle Aufbereitung.

Die Verkehrswegedaten werden zuerst so bereinigt, dass Verkehrswege einerseits an Kreuzungen geteilt sind, und andererseits kein Verkehrswegesegment an einem anderen Punkt als einer Kreuzung, der Stadtgrenze oder dem Ende einer Sackgasse beginnt oder endet. Damit entspricht jedes Segment dem kreuzungslosen Verlauf eines Verkehrsweges zwischen zwei Kreuzungen, dem Ende einer Sackgasse oder dem Ende des Verkehrsweges an der Stadtgrenze. Theoretisch sollte der Straßengraph der Stadt Wien bereits auf diese Weise aufgearbeitet sein, praktisch ist die Aufbereitung jedoch teilweise fehlerhaft. Außerdem ist zu bedenken, dass sich durch die manuellen Anpassungen - insbesondere durch den Wegfall von Fuß- und Radwegen - Segmente zusammengelegt werden müssen, die zuvor etwa aufgrund einer Kreuzung mit einem Fuß- oder Radweg getrennt waren.

Weiters werden, wie bereits erwähnt, nur jene Sackgassensegmente (zur Bestimmung von Sackgassen vgl. Kapitel 5.4.4) berücksichtigt, welche eine Mindestlänge von 20 Meter aufweisen, da sonst auch kleinste Restsegmente in der Analyse berücksichtigt werden würden, welche großteils auf Digitalisierungsfehler zurückgehen – etwa, wenn ein Segment nicht genau auf anderes Segment gesnappt wurde.

Außerdem werden Segmente, welche über mehrere Rasterzellen verlaufen, an den Rastergrenzen geteilt, sodass jede Geometrie eindeutig einer Rasterzelle zugeordnet ist. Weiters werden aus den Punkten, an denen Verkehrswegsegmente zusammentreffen, Kreuzungen berechnet.

Aus den Verkehrswegedaten werden in weiterer Folge Blöcke abgeleitet, welche das Stadtgebiet abzüglich eines beidseitigen 10-Meter-Puffers rund um die Verkehrswegsegmente darstellen, mit einem abgerundeten – und nicht eckigen - Abschluss von Sackgassen und am Ende des Stadtgebiets. Die 20 Meter sollen dabei die durchschnittliche Straßenbreite darstellen, wobei eine korrekte Darstellung der Straßenbreite jedes Verkehrswegsegments ausdrücklich nicht erwünscht ist, da die Blöcke lediglich das abstrakte Verkehrswegemuster repräsentieren sollen und nicht die tatsächliche Fläche außerhalb der Verkehrswege.

Es werden nur jene Blöcke in der Analyse berücksichtigt, welche mehr als 1.000 m² Fläche aufweisen, um kleine Restflächen von der Untersuchung auszuschließen. Außerdem werden jene Blöcke nicht berücksichtigt, welche eine Verzerrung von mehr als 10 aufweisen, um schmale, langgezogene Restflächen auszuschließen, welche mit dem Verkehrswegemuster wenig zu tun haben. Die Verzerrung ergibt sich dabei aus dem Verhältnis von Umkreisfläche zu Flächeninhalt. Da ein Umkreis im geometrischen Sinn, welcher alle Eckpunkte schneidet, nur für streng geometrische Polygone existiert, wurde der Umkreis so konstruiert, dass das jeweilige Blockzentrum den Mittelpunkt bildet, und der Kreis durch den am weitesten entfernten Vertex verläuft. Der Umkreisradius entspricht damit dem Abstand vom Zentrum zum am weitesten entfernten Vertex, was bei streng geometrischen Formen auch tatsächlich dem Umkreisradius entspricht, und bei unregelmäßigen Formen eine gute Approximation darstellt.

Im Rahmen der Analyse werden nur jene Blöcke berücksichtigt, welche sich vollständig innerhalb einer Rasterzelle befinden. Damit soll den in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Randeffekten Rechnung getragen werden. Ansonsten müssten zwischen mehreren Rasterzellen geteilte Blöcke entweder geteilt betrachtet werden, wodurch deren eigentliche Größe und Form verloren gehen würde, oder jeder Block müsste einer der Rasterzellen vollständig zugeteilt werden, wodurch die einzelnen Zellen aber wiederum unterschiedliche Größen erhalten würden, was durch die Realisierung von Rasterzellen als räumliche Bezugsflächen eigentlich vermieden werden sollte.

Außerdem werden zur Analyse nur jene Rasterzellen herangezogen, welche eine gewisse Mindestanzahl von Blöcken enthalten, da angenommen wird, dass sich ein Verkehrswegemuster bei Rasterzellen mit sehr wenigen Blöcken nicht sinnvoll bestimmen lässt. Als Mindestanzahl wurde daher eine Anzahl von fünf Blöcken festgelegt, da davon ausgegangen wird, dass diese Anzahl bereits eine annäherungsweise sinnvolle Interpretation des jeweiligen Verkehrswegemusters erlaubt.

5.3.2 Aufbereitung der Daten zum Verkehrsunfallgeschehen

Die von der STATISTIK AUSTRIA (vgl. 2016a) zur Verfügung gestellten Daten zu den Verkehrsunfällen mit Personenschaden in Österreich haben den großen Vorteil, dass die Unfallpositionen bereits in Form geographischer Koordinaten vorlagen und nicht, wie bei

Untersuchungen aus vielen anderen Staaten, aufwändig aus Adressen und Straßenkilometerangaben berechnet werden müssen (vgl. STEENBERGEN ET AL. 2004), um für räumliche Analysen verwendet werden zu können.

Es wird nur die Anzahl der Verkehrsunfälle mit Personenschaden berücksichtigt, nicht aber die Anzahl der jeweils verletzten Personen, da im Rahmen der Fragestellung nur das Risiko für die Entstehung von Verkehrsunfällen untersucht werden soll und nicht das Verletzungsrisiko. Auch die Schwere der Verletzungen wird nicht berücksichtigt. Weiters werden Verkehrsunfälle mit Todesfolge nicht explizit behandelt, da die Anzahl von 17 getöteten Personen im Jahr 2015 in Wien (9 Fußgängerinnen und Fußgänger, 3 im NMIV, 0 im ÖV, 2 im EMIV, 3 im ZMIV) zu gering ist, um für eine statistisch signifikante Berechnung herangezogen werden zu können.

Da die Verkehrsmittel im Datensatz der Statistik Austria in 25 verschiedenen Kategorien vorlagen, wird eine Rekategorisierung vorgenommen, welche die fünf Kategorien der Fußgängerinnen und Fußgänger, des NMIV, des ÖV, des EMIV und des ZMIV umfasst (vgl. Tabelle 4).

Verkehrsteilnehmerklasse	Abkürzung	Enthaltene Verkehrsteilnehmer
Fußgänger	-	Fußgänger
Nicht-motorisierter Individualverkehr	NMIV	Fahrrad, Elektrorad, Kinderfahrrad, Elektroscooter, Microscooter, Tretroller, Skateboards und andere Boards, Rollschuhe, Inlineskates, sonstige Sportgeräte
Öffentlicher Verkehr	ÖV	Omnibus, Straßenbahn
Einspuriger Motorisierter Individualverkehr	EMIV	Motorrad, Motorrad mit Beiwagen, Kleinmotorrad (mit Beiwagen), Leichtmotorrad (mit Beiwagen), Motorfahrrad
Zweispuriger Motorisierter Individualverkehr	ZMIV	PKW, LKW, Kombi, MicroCar, Traktor, Taxi, Sattelzugfahrzeug, Transportkarren, Motorkarren, mehrspuriges Kraftfahrzeug

Tabelle 4: Für diese Untersuchung verwendete Klassifizierung der Verkehrsmittel in fünf Klassen (Eigene Erstellung)

Basierend auf dem jeweils von den Exekutivorganen angegebenen Hauptunfallverursachenden wird eine separate Tabelle erstellt, sodass die geschlechts- und verkehrsmittelbezogenen Analysen sowohl auf die Gesamtzahl der Beteiligungen, als auch auf die Zahl der Beteiligungen als Hauptunfallverursachende angewendet werden kann.

5.3.3 Aufbereitung und Interpolation der Daten zum Verkehrsaufkommen

Die Aufbereitung der Daten zum Verkehrsaufkommen wird mit dem Python-Skript aus Anhang II bewerkstelligt. Als Inputparameter dienen der gewünschte Workspace, die räumlichen Bezugsflächen (Raster), die originale Feature Class mit den Verkehrswegen, welche ein Hierarchieattribut enthält, die aufbereitete Feature Class mit den Verkehrswegen, die Feature Class mit den Messstationen und den jeweiligen Messwerten des Verkehrsaufkommens, die Feature Class mit den Unfällen sowie der numerische Weglängenanteil des jeweiligen Verkehrsmittels.

Im Originaldatensatz sind die Verkehrswege in drei Kategorien aufgeteilt – Bundesstraßen, Landesstraßen und Gemeindestraßen. Diese Kategorien werden in der Analyse berücksichtigt, da erwartet wird, dass das Verkehrsaufkommen in erster Linie von der jeweiligen Verkehrswegehierarchie abhängt. Dazu werden die Kategorieattribute des originalen Verkehrswegedatensatzes mittels einer räumlichen Verbindung dem aufbereiteten Verkehrswegedatensatz zugeordnet.

Im zweiten Schritt werden die Messstellen den jeweiligen Verkehrswegen zugeordnet, indem um die Verkehrswege ein Puffer von 10 Meter gelegt wurde, und dieser anschließend mit den Messstellen verknüpft wurde, sodass jede Messstelle einem bestimmten Verkehrsweg und damit auch der entsprechenden Verkehrswegehierarchie zugeordnet wird.

Die Interpolation erfolgt anschließend für jeden Hierarchietyp unabhängig. Dabei wird das Verkehrsaufkommen für jedes Verkehrswegeselement als gewichteter Durchschnitt der Messstellen berechnet, wobei das Gewicht bei den Bundes- und Landesstraßen mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, sodass nahegelegene Messstellen einen deutlich höheren Einfluss auf den jeweiligen Wert haben als weiter weg gelegene. Bei den Gemeindestraßen nimmt das Gewicht der Messstellen lediglich linear ab, da die Anzahl der Messstellen auf Gemeindestraßen sehr gering ist, und sonst einzelne Ausreißer bei den Werten einzelner Messstellen ein zu großes Gewicht in ihrer Umgebung gehabt hätten.

Da das Verkehrsaufkommen an jeder Messstelle für zwei Fahrtrichtungen gemessen wurde, werden die entsprechenden Werte jeweils gemittelt. Liegt bei einer Messstelle nur in einer Richtung ein Messwert vor, so wird dieser herangezogen.

5.4 Berechnung von form- und musterbezogenen Kennzahlen

Die automatisierte Klassifizierung der Verkehrswegemuster erfolgt anhand verschiedener geometrischer und topologischer Kennzahlen, welche in der Literatur (vgl. Kapitel 2.4 und 3.3) als für die Charakteristik von Verkehrswegemustern relevant beschrieben werden. Im Folgenden sollen die für die Untersuchung berechneten geometrischen und topologischen form- und musterbezogenen Kennzahlen sowie deren Berechnung angeführt werden. Es wird dabei ausschließlich das horizontale Verkehrswegemuster berücksichtigt, während die vertikale Dimension (Höheninformation) nicht in die Musterberechnung miteingeschlossen wird. Die Kennzahlen sind in Tabelle 5 überblicksmäßig angeführt. Für Kennzahlen, die mit einem * markiert sind, werden sowohl der arithmetische Mittelwert, als auch die Standardabweichung für jede Rasterzelle bestimmt. Insgesamt werden damit 20 Kennzahlen berechnet.

Klasse	Geometrische Kennzahlen	Topologische Kennzahlen
Kennzahlen der Blöcke	Blockfläche *	Anzahl an begrenzenden Verkehrswegsegmenten *
	Verzerrung *	
	Zentroidabstand *	
Kennzahlen der Verkehrswege	Minimaler Schnittwinkel *	Anzahl der in einer Kreuzung zusammentreffenden Verkehrswegsegmente *
	Segmentlänge *	
	Kreuzungsabstand *	T-Verhältnis
	Verkehrswegedichte	Sackgassenverhältnis
	Kreuzungsdichte	

Tabelle 5: In der Untersuchung berücksichtigte form- und musterbezogene Kennzahlen (Eigene Erstellung)

Die Berechnung der Kennzahlen erfolgt wiederum im Python-Skript aus Anhang I. Im Folgenden werden die einzelnen Kennzahlen und ihre Berechnung detailliert beschrieben. Die Funktionalitäten zur Berechnung dieser Kennzahlen sind zu einem gewissen Teil bereits im Arcpy-Modul von ArcGIS vorhanden, zu einem Teil habe ich diese selbst geschrieben. Die folgende Übersicht gliedert sich in fünf Unterpunkte. Zuerst erfolgt die Beschreibung der Berechnung der geometrischen und der topologischen Kennzahlen der Blöcke, anschließend die Beschreibung der Berechnung der geometrischen und der topologischen Kennzahlen der Verkehrswege und zum Schluss wird die Standardisierung der errechneten Kennzahlen beschrieben.

5.4.1 Geometrische Kennzahlen der Blöcke

Zu den geometrischen Kennzahlen der Blöcke gehören deren Fläche, deren Verzerrung sowie der durchschnittliche Abstand ihrer Zentroide.

Blockfläche *

Zur Berechnung der durchschnittlichen Blockfläche sowie deren Standardverteilung werden alle Blöcke einer Rasterzelle herangezogen, welche vollständig darin liegen.

Verzerrung *

Die Verzerrung, welche in der Literatur auch als Kompaktheit beschrieben wird (vgl. O'SULLIVAN UND UNWIN 2010: 195f), beschreibt das Verhältnis zwischen Blockfläche und Umkreisfläche eines durchmessergleichen Kreises. Um sie zu berechnen, wird zuerst für jeden Block der Abstand all seiner Vertices untereinander bestimmt. Der größte Abstand ist der Umkreisdurchmesser. Darauf aufbauend wird der Flächeninhalt des Kreises berechnet, durch welchen der Flächeninhalt des Blocks anschließend dividiert wird. Das Ergebnis ist die Verzerrung des jeweiligen Blocks. Zur Berechnung von Mittelwert und

Standardabweichung der Verzerrungen werden wiederum alle Blöcke herangezogen, die vollständig in der jeweiligen Rasterzelle liegen.

Zentroidabstand *

Der Zentroidabstand beschreibt den Abstand des Zentroids eines Blocks, also des geometrischen Mittelpunktes, zum nächstgelegenen Blockzentroid. Auch hier werden Mittelwert und Standardabweichung für alle Blöcke berechnet, die vollständig in der jeweiligen Rasterzelle liegen.

5.4.2 Topologische Kennzahlen der Blöcke

Als einzige topologische Kennzahl der Blöcke wird die Anzahl an begrenzenden Verkehrssegmenten je Block ermittelt.

Anzahl an begrenzenden Verkehrswegsegmenten *

Zur Berechnung der Anzahl an begrenzenden Verkehrswegsegmenten wird die Blockfläche mit 30 Metern gepuffert und anschließend für jeden Block gezählt, wie viele Verkehrswegsegmente sich vollständig darin befinden. Der Wert von 30 Metern stellt einen Kompromiss dar, und musste einerseits klein genug sein, um keine Segmente zu enthalten, die andere Blockflächen umschließen, und andererseits groß genug, um auch bei spitzwinkligen Kreuzungen die begrenzenden Segmente vollständig zu enthalten (vgl. Abbildung 17).

Diese Vorgehensweise ist streng genommen nicht ganz korrekt, da bei besonders spitzwinkligen Kreuzungen die 30 Meter Puffer nicht ausreichen, um die begrenzenden beiden Segmente vollständig zu umfassen, und es umgekehrt sein könnte, dass Segmente, die den Block zwar nicht direkt begrenzen, aber dennoch innerhalb des 30-Meter-Puffers liegen, als begrenzende Segmente interpretiert werden. Dennoch habe ich durch stichprobenartige Tests festgestellt, dass diese Methode, trotz der beschriebenen theoretischen Lücken, in nahezu allen Fällen die richtigen Ergebnisse liefert, und habe sie daher - nicht zuletzt aus Mangel an alternativen Ideen - für die Berechnung herangezogen. Auch hier werden Mittelwert und Standardabweichung für alle Blöcke berechnet, die vollständig in der jeweiligen Rasterzelle liegen.

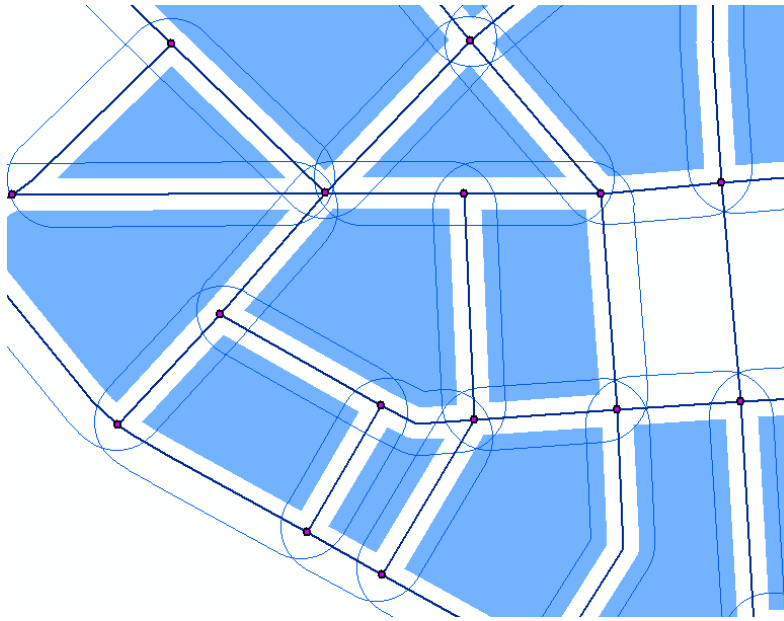


Abbildung 17: Veranschaulichung der Berechnung der Anzahl an begrenzenden Verkehrsflächen mittels 30-Meter-Puffer um die Blöcke und Zählen der beinhaltenden Segmente (Eigene Erstellung)

5.4.3 Geometrische Kennzahlen der Verkehrswege

Zu den geometrischen Kennzahlen der Verkehrswege zählen der minimale Schnittwinkel, die Segmentlänge, der Kreuzungsabstand, die Verkehrswegedichte sowie die Kreuzungsdichte. Grundeinheiten dieser Kennzahlen sind neben den Verkehrswegen selbst auch die aus ihnen ermittelten Kreuzungen.

Minimaler Schnittwinkel *

Der minimale Schnittwinkel ist genau genommen eine Kennzahl der Kreuzungen. Für jede Kreuzung wird der kleinste Schnittwinkel der in ihr zusammenführenden Verkehrswegsegmente berechnet. Die Berechnung ist dabei durchaus komplex. Zuerst wird um jede Kreuzung ein 5-Meter-Puffer berechnet und dieser mit den Verkehrswegsegmenten verschnitten. Dadurch ergeben sich Referenzpunkte, welche in Verlaufsrichtung des Verkehrswegs 5 Meter von der Kreuzung entfernt liegen. Anschließend werden die Winkel zwischen der Kreuzung und allen zugehörigen Referenzpunkten berechnet. Daraufhin werden die Differenzen zwischen allen Winkelkombinationen gebildet, und deren Absolutbeträge auf den kleinsten Wert hin verglichen. Der geringste Absolutbetrag ist der gesuchte minimale Schnittwinkel. Für jede Rasterzelle werden Mittelwert und Standardabweichung der minimalen Schnittwinkel aller beinhaltenden Kreuzungen gebildet.

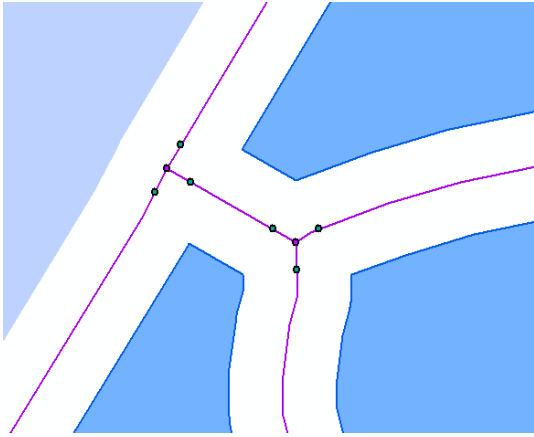


Abbildung 18: Veranschaulichung der Berechnung des minimalen Schnittwinkels mittels 5-Meter-Puffer: Kreuzung mit dem höchsten minimalen Schnittwinkel im Datensatz mit 118,6 ° sowie eine Kreuzung mit 90,0 ° (Eigene Erstellung)

Segmentlänge *

Für die Ermittlung von Mittelwert und Standardabweichung der Segmentlänge je Rasterzelle werden alle Verkehrswegesegmente berücksichtigt, die sich vollständig in der jeweiligen Rasterzelle befinden.

Kreuzungsabstand *

Der Kreuzungsabstand beschreibt den Abstand einer Kreuzung zur nächstgelegenen Kreuzung. Hier werden wiederum der Mittelwert und die Standardabweichung der Kreuzungsabstände aller Kreuzungen der jeweiligen Rasterzelle berechnet.

Verkehrswegedichte

Die Verkehrswegedichte beschreibt die Verkehrsweglänge pro Flächeneinheit. Im Rahmen dieser Analyse bietet sich die Verwendung der Rasterzelle als Flächeneinheit mit einem Flächeninhalt von 1 km² an. Damit beschreibt die Verkehrswegedichte einer Rasterzelle die Gesamtlänge der in ihr – wenn auch nur zu einem Teil – verlaufenden Verkehrswegesegmente.

Kreuzungsdichte

Entsprechend der Verkehrswegedichte beschreibt die Kreuzungsdichte die Anzahl an Kreuzungen je Rasterzelle und damit pro km².

5.4.4 Topologische Kennzahlen der Verkehrswege

Die topologischen Kennzahlen der Verkehrswege umfassen die Anzahl der in einer Kreuzung zusammentreffenden Verkehrswegesegmente, das T-Verhältnis sowie das Sackgassenverhältnis.

Anzahl der in einer Kreuzung zusammentreffenden Verkehrswegesegmente *

Um zu ermitteln, wie viele Verkehrswegesegmente in einer Kreuzung zusammentreffen, wird gezählt, wie viele Verkehrswegesegmente die jeweilige Kreuzung schneiden. Hierfür werden wiederum Mittelwert und Standardabweichung aller Kreuzungen der jeweiligen Rasterzelle berechnet.

T-Verhältnis

Das T-Verhältnis beschreibt das Verhältnis der Anzahl an T-Kreuzungen zur Gesamtzahl der Kreuzungen (vgl. MARSHALL 2005: 98). Zu dessen Ermittlung wird die zur Berechnung der Anzahl der in einer Kreuzung zusammentreffenden Verkehrswegesegmente erstellte Feature Class herangezogen, und nur jene Kreuzungen mit einer Anzahl an drei zusammentreffenden Verkehrswegesegmenten berücksichtigt. Theoretisch kann es sich dabei auch um andere Kreuzungen als T-Kreuzungen handeln - etwa drei Verkehrswege, die sich mit jeweils 120° schneiden (vgl. Abbildung 18). Tatsächlich handelt es sich bei fast allen dieser Kreuzungen allerdings um klassische T-Kreuzungen, weshalb keine zusätzlichen Winkelberechnungen notwendig sind. Die Anzahl an T-Kreuzungen wird anschließend durch die Kreuzungsdichte dividiert, um das T-Verhältnis jeder Rasterzelle zu berechnen.

Sackgassenverhältnis

Das Sackgassenverhältnis beschreibt das Verhältnis der Anzahl an Sackgassen zu der Anzahl an geschlossenen Blöcken (vgl. MARSHALL 2005: 98). Die Idee für eine rein geometrische Bestimmung der Anzahl der Sackgassen ist jene, die Anzahl an Anfangs- und Endpunkten der Verkehrswegesegmente der Anzahl an Kreuzungen gegenüberzustellen. Wenn sich an der Stelle eines Anfangs- oder Endpunkts eines Verkehrswegesegments keine Kreuzung befindet, handelt es sich dabei um eine Sackgasse. Die so ermittelte Anzahl an Sackgassen wird durch die Anzahl an in der jeweiligen Rasterzelle vollständig enthaltenen Blöcken dividiert, um das Sackgassenverhältnis zu erhalten.

5.4.5 Standardisierung der Kennzahlen

Alle berechneten form- und musterbezogenen Kennzahlen werden nach ihrer Berechnung in das Intervall 0 bis 1 standardisiert, um sie für die weiteren Analysen verwenden zu können. Hierfür wird der minimale Wert einer Kennzahl vom Wert der jeweiligen Rasterzelle subtrahiert und das Ergebnis durch die Spannweite dividiert. Damit ergibt sich für den niedrigsten Wert jeder Kennzahl der standardisierte Wert 0, für den höchsten Wert der standardisierte Wert 1, und für die übrigen Werte ein entsprechender Wert dazwischen.

5.5 Klassifizierung der Verkehrswegemuster mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes

Die ermittelten Kennzahlen werden mithilfe des multivariaten strukturellen Ansatzes (vgl. Kapitel 2.5) klassifiziert. Dieser umfasst eine Faktorenanalyse, welche dazu dient, irrelevante Dimensionen der Kennzahlen zu eliminieren, sowie eine hierarchische Clusteranalyse, welche auf die verbleibenden Dimensionen angewandt wird.

5.5.1 Dimensionsreduktion mittels Faktorenanalyse

Um die Dimension der Daten auf die wesentlichen Faktoren zu reduzieren und damit bestehende Korrelationen zwischen Kennzahlen zu beseitigen, welche das Ergebnis der Clusteranalyse verzerren würden, wird mithilfe von SPSS eine Hauptkomponentenanalyse mit Rotation durchgeführt, wobei die Rotation alleine der erleichterten Interpretation der Dimensionen dient. Die Hauptkomponentenanalyse stammt aus der Gruppe der Faktorenanalysen und hat zum Ziel, dass jeder Faktor einen möglichst hohen Anteil der Varianz erklärt (vgl. Kapitel 2.5.1).

Als Rotationsmethode wird Varimax mit Kaiser-Normalisierung verwendet. Es werden nur jene Dimensionen für die weitere Analyse herangezogen, welche entsprechend des Kaiser-Guttman-Kriteriums bei der Faktorenanalyse einen Eigenwert größer als 1 aufweisen.

5.5.2 Klassifizierung mittels hierarchischer Clusteranalyse

Die eigentliche Klassifizierung erfolgt ebenfalls mithilfe von SPSS in Form einer Clusteranalyse. Von den zahlreichen Verfahren der deterministischen Clusteranalyse wurde das Ward-Verfahren ausgewählt, da 1) metrische Daten vorliegen – wodurch Single-Linkage- und Complete-Linkage-Verfahren nicht sinnvoll sind, da eine Invarianz gegenüber monotonen Transformationen nicht erwünscht ist, 2) eine empirische Klassifikation gefunden werden soll – was gegen Average-Linkage-Verfahren spricht, sowie 3) eine Datenmatrix vorliegt und eine objektorientierte Datenanalyse gefragt ist – was Single-Linkage-Verfahren, Mittelwertverfahren und verallgemeinerte Nearest-Neighbour- und Repräsentantenverfahren ausschließt, und 4) keine sehr große Datenmenge vorliegt, die die Präferenz eines partitionierenden Verfahrens, wie etwa des K-Means-Verfahrens, gegenüber eines hierarchischen Verfahrens rechtfertigen würde (vgl. BACHER ET AL. 2011³: 154f).

In Bezug auf die in Kapitel 2.5.2 beschriebene Klassifizierung wird eine heuristische, explorative, überlappungsfreie und hierarchische Clusteranalyse durchgeführt. Das Ward-Verfahren fasst die einzelnen Fälle – in diesem Fall die Rasterzellen – zunehmend zu Clustern zusammen, wobei die Fehlerquadratsumme minimal gehalten wird. Dadurch lässt sich jede beliebige Anzahl an Clustern erreichen – je nachdem, nach welchem Zusammenfassungsschritt die Clusterung abgebrochen wird. Um daher eine sinnvolle Anzahl an Clustern zu erreichen, wird jener Punkt gesucht, ab dem die Fehlerquadratsumme sprunghaft ansteigt. Die damit errechneten Cluster beschreiben die automatisiert klassifizierten Verkehrswegemuster.

5.6 Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos

5.6.1 Allgemeine Vorgangsweise zur Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos

Das Verkehrsunfallrisiko, auch Unfallwahrscheinlichkeit, Unfallrelativzahl oder Unfallrate genannt, relativiert die Anzahl der Verkehrsunfälle an einer Strecke mit deren Länge und Verkehrsaufkommen, um die tatsächliche Wahrscheinlichkeit zu erhalten, mit welcher eine Verkehrsteilnehmerin oder ein Verkehrsteilnehmer bei Zurücklegung einer bestimmten Distanz in einen Verkehrsunfall verwickelt wird. Diese Berechnung ist üblich, aber nicht zwingend trivial – es könnte beispielsweise auch das Verkehrsunfallrisiko pro im Verkehr gebrachter Zeiteinheit oder pro Weg berechnet werden.

Um das Verkehrsunfallrisiko berechnen zu können, wird die Information benötigt, wie sich das Verkehrsaufkommen auf die Verkehrsunfallanzahl auswirkt. Neben linearen Modellen, wonach eine Verdoppelung / Verdreifachung / ... des Verkehrsaufkommens auch eine entsprechende Verdoppelung / Verdreifachung / ... der Verkehrsunfälle bewirkt, wären auch exponentielle Modelle denkbar, wonach die Zahl an Verkehrsunfällen mit einem Vielfachen des Verkehrsaufkommens steigt, oder ein beschränktes Wachstum, wonach die Zunahme der Unfallzahlen mit zunehmendem Verkehrsaufkommen geringer wird.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird ein lineares Modell verwendet. Zur Berechnung des Verkehrsunfallrisikos wird auf folgende Formel zurückgegriffen (vgl. SAMMER ET AL. 2011: D9).

$$VUR = \frac{VUPS / J * 10^6}{365 * JDTV * L}$$

VUR = Verkehrsunfallrisiko

VUPS / J = Verkehrsunfälle mit Personenschaden pro Jahr

JDTV = Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

L = Länge des Verkehrswegesegments

Das Ergebnis gibt die Anzahl an Verkehrsunfällen mit Personenschaden pro Tag und Kilometer Streckenlänge in ppm an. Der Durchschnittswert für das Verkehrsunfallrisiko auf Österreichs Autobahnen liegt beispielsweise bei etwa 0,15, auf Bundesstraßen im Freiland bei 0,5 und bei Bundesstraßen im Ortsgebiet bei 1,1 VUPS / d / km ppm (vgl. SAMMER ET AL. 2011: D9).

Für die Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos werden für jedes Verkehrswegesegment die Verkehrsunfälle summiert, die sich innerhalb eines 20-Meter-Puffers um dieses ereignet haben. Für die Gesamtanalyse wird dabei die Gesamtzahl an Verkehrsunfällen herangezogen, bzw. für die Untersuchungen zu den Beteiligungen der beiden Geschlechter

und der einzelnen Verkehrsmittel werden hierbei nur die Verkehrsunfälle mit der jeweiligen Beteiligung berücksichtigt. Anschließend wird nach obiger Formel für jedes Verkehrswegeselement das jeweilige Verkehrsunfallrisiko bestimmt. Und schließlich wird das durchschnittliche Verkehrsunfallrisiko jeder in der Untersuchung berücksichtigten Rasterzelle durch Aggregation der Segmentwerte berechnet, wobei neben dem Mittelwert auch die Standardabweichung für jede Rasterzelle berechnet wird.

5.6.2 Bestimmung des Verkehrsunfallrisikos für die beiden Geschlechter und einzelnen Verkehrsmittel

Für die Berechnung der Verkehrsunfallrisiken für die beiden Geschlechter sowie die einzelnen Verkehrsmittel werden nur die Beteiligungen der jeweiligen Gruppe bei Verkehrsunfällen herangezogen, bzw. in einer weiteren Untersuchung jene Beteiligungen, bei welchen das jeweilige Verkehrsmittel als Hauptverursachender eingestuft wurde.

Für die beiden Geschlechter wird angenommen, dass sowohl Frauen, als auch Männer die gleiche Distanz im Verkehr zurücklegen, und das gleichermaßen über die gesamte Stadt und auf alle Verkehrsmittel verteilt. Daher wird die jahresdurchschnittliche tägliche zurückgelegte Weglänge ($JDTV * L$) in der Formel zur Berechnung des Verkehrsunfallrisikos für jedes einzelne Verkehrswegeselement mit 0,5 multipliziert.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass bei der allgemeinen Berechnung des Verkehrsunfallrisikos die Verkehrsunfälle als Berechnungsgrundlage herangezogen werden, und in der gruppenspezifischen Berechnung die Beteiligungen. Um die Werte vergleichbar zu machen, und jene Werte zu erhalten, die tatsächlich das Verkehrsunfallrisiko beschreiben, muss anschließend noch durch die durchschnittliche Beteiligungszahl pro Unfall dividiert werden. Bei 5.839 Verkehrsunfällen und 11.962 Beteiligungen in Wien im Jahr 2015 ergibt sich daher eine durchschnittliche Beteiligungszahl von 2,048.

Damit ergibt sich die folgende Formel.

$$VUR(G_g) = \frac{BVUPS / J(G_g) * 10^6}{365 * JDTV * L * 0,5 * DBZ}$$

$VUR(G_g)$ = Verkehrsunfallrisiko von Menschen mit Geschlecht g

$BVUPS / J(G_g)$ = Beteiligungen in Verkehrsunfällen mit Personenschaden pro Jahr von Menschen mit Geschlecht g

$JDTV$ = Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

L = Länge des Verkehrswegeselements

DBZ = Durchschnittliche Beteiligungszahl pro Verkehrsunfall (in dieser Untersuchung 2,049)

Für die Aufteilung nach Verkehrsmitteln wird die jahresdurchschnittliche tägliche zurückgelegte Weglänge ($JDTV * L$) in der Formel zur Berechnung des Verkehrsunfallrisikos mit dem jeweiligen Weglängenanteil des entsprechenden Verkehrsmittels gewichtet. Damit ergibt sich die folgende Formel.

$$VUR (VM_v) = \frac{BVUPS / J (VM_v) * 10^6}{365 * JDTV * L * WLA (VM_v) * DBZ}$$

$VUR (VM_v)$ = Verkehrsunfallrisiko des Verkehrsmittels v

$BVUPS / J (VM_v)$ = Beteiligungen in Verkehrsunfällen mit Personenschaden pro Jahr des Verkehrsmittels v

$JDTV$ = Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

L = Länge des Verkehrswegesegments

$WLA (VM_v)$ = Weglängenanteil des Verkehrsmittels v

DBZ = Durchschnittliche Beteiligungszahl pro Verkehrsunfall (in dieser Untersuchung 2,049)

Der Weglängenanteil beschreibt den Anteil, welches das jeweilige Verkehrsmittel an den insgesamt mit allen Verkehrsmitteln zurückgelegten Weglängen hat. Dieser wird mit folgender Formel bestimmt.

$$WLA (VM_v) = \frac{MS(VM_v) * DWL(VM_v)}{\sum_{i=1}^n MS(VM_i) * DWL(VM_i)}$$

$WLA (VM_v)$ = Weglängenanteil des Verkehrsmittels v

$MS (VM_i)$ = Modal Split des Verkehrsmittels i

$DWL (VM_i)$ = Durchschnittliche Weglänge des Verkehrsmittels i

n = Anzahl der berücksichtigten Verkehrsmittel (in dieser Untersuchung 5)

Der Weglängenanteil entspricht also dem Verhältnis der mit einem Verkehrsmittel v durchschnittlich zurückgelegten Weglänge zur Summe der mit allen Verkehrsmitteln durchschnittlich zurückgelegten Weglängen.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass dieses Berechnungsmodell nur eine grobe Schätzung des Verkehrsunfallrisikos für die einzelnen Verkehrsmittel darstellt. Der größte Schwachpunkt ist wohl die Berechnung der $JDTV$. Diese bezieht sich auf das an den Messstellen gemessene Verkehrsaufkommen und geht von einer Hierarchisierung der

Verkehrswege aus, wobei ähnliche Hierarchien ähnliche Verkehrsmengen aufweisen. Dieses Modell ist sehr stark auf den MIV zugeschnitten und für die Gesamtberechnung ist dies kein Problem, da der überwiegende Großteil der Verkehrsunfälle vom MIV verursacht wird. Dasselbe gilt bei der Aufteilung in die beiden Geschlechter. Bei der Aufteilung in einzelne Verkehrsmittel ist allerdings zu bedenken, dass die Verteilung des Verkehrsflusses der anderen Verkehrsmittel stark von diesem abweichen kann. Der NMIV benutzt auch stark jene Verkehrswege, welche Fahrradinfrastruktur enthalten und verteilt sich allgemein eher über das gesamte Stadtgebiet als der MIV. Der ÖV ist an bestimmte Linienführungen gebunden und der Fußgängerverkehr verteilt sich wohl am deutlichsten auf das gesamte Stadtgebiet, unabhängig von der Hierarchie der jeweiligen Verkehrswege.

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Modell aber ausreichend sein, da die möglichst korrekte Modellierung des Verkehrsflusses der einzelnen Verkehrsmittel nicht im Hauptfokus steht, sondern sie nur Mittel zum Zweck ist, und dies den Umfang dieser Arbeit sprengen würde. Allerdings wäre es beispielsweise durch Netzwerkanalysen sowie Einbindung verkehrsmittelabhängiger Zählstellen (Fahrradzählstellen, Fußgängerzählstellen) bzw. durch Einbindung des ÖV-Netzes durchaus möglich, die verkehrsmittelspezifischen Verkehrsflussmodelle deutlich zu verfeinern.

5.7 Berechnung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko mittels Varianzanalyse

In der finalen Berechnung, welche wiederum mit SPSS durchgeführt wird, wird der Einfluss des Verkehrswegemusters als unabhängige Variable auf die abhängige Variable des Verkehrsunfallrisikos ermittelt. Da die unabhängige Variable ein nominales Datenniveau aufweist und die abhängige Variable ein metrisches, wird der Einfluss mittels einfaktorieller Varianzanalyse bestimmt.

Die Varianzanalyse untersucht den Einfluss von unabhängigen, nominal skalierten Variablen, den sogenannten Faktoren, auf unabhängige metrische Variablen. Im Falle der einfaktoriellen Varianzanalyse existiert nur ein einziger unabhängiger Faktor, dessen Einfluss berechnet werden soll. Die einzelnen Werte werden als Faktorstufen bezeichnet. Die Idee der methodischen Vorgangsweise ist, dass untersucht wird, ob die (eventuellen) Unterschiede in den Mittelwerten der einzelnen Faktorstufen statistisch signifikant sind oder es sich dabei um zufällige Abweichungen handelt. Dazu wird die Varianz in zwei Teile aufgeteilt - die Varianz, die durch die Gruppenzugehörigkeit erklärt wird (Varianz zwischen den Gruppen), sowie in die Restvarianz (Varianz innerhalb der Gruppen). Die Varianz ergibt sich aus der Division der Fehlerquadratsumme durch die Zahl der jeweiligen Freiheitsgrade. Das Verhältnis zwischen Varianz innerhalb Gruppen und Varianz zwischen den Gruppen wird als Prüfsumme F bezeichnet. Wird diese einem F-Test unterzogen, so lässt sich die Signifikanz des Einflusses bestimmen (vgl. KUCKARTZ et al. 2013²: 185ff, 195). Als Signifikanzniveau dieser Untersuchung wird 0,05 gewählt.

In einem weiteren Schritt wird bestimmt, auf welche Weise sich eventuell signifikante Einflüsse bemerkbar machen, indem für jede Verkehrswegemusterklasse der Mittelwert der Verkehrsunfallrisiken aller Rasterzellen dieser Klasse berechnet wird.

6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der nach der beschriebenen Methodik durchgeführten Untersuchung dargestellt und die in der Einleitung formulierten Fragestellungen entsprechend dieser Ergebnisse beantwortet.

Das erste Unterkapitel beschreibt die Ergebnisse der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster von Wien, mit der die berücksichtigten Rasterzellen den einzelnen Verkehrswegekassen zugeordnet wurden. Im zweiten Unterkapitel werden die Ergebnisse der Bestimmung von Verkehrsaufkommen und Verkehrsunfallrisiko präsentiert. Das dritte Unterkapitel fasst die Ergebnisse der Berechnungen zum Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko, sowohl für die Gesamtheit der Unfälle, als auch getrennt nach den Geschlechtern und den einzelnen Verkehrsmitteln, zusammen. Dabei wird wiederum jeweils zwischen einer reinen Beteiligung und einer Beteiligung als Hauptunfallverursachender differenziert. Die Interpretation der Ergebnisse, welche auch die Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit umfasst, erfolgt im vierten Kapitel.

6.1 Ergebnisse der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster

Dieses Unterkapitel beschreibt die Zwischen- und Gesamtergebnisse der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster. Dabei wird zuerst auf die berechneten geometrischen und topologischen Kennzahlen eingegangen, anschließend auf die Ergebnisse der Faktorenanalyse und weiters auf die Ergebnisse der Clusteranalyse. Schließlich wird versucht, die resultierenden Verkehrswegemusterklassen anhand ihrer Kennzahlen zu charakterisieren.

Die Realisierung der räumlichen Bezugsflächen unter der Bedingung, dass diese mindestens fünf Blöcke vollständig enthalten, um in der weiteren Untersuchung berücksichtigt zu werden, hat insgesamt 282 Rasterzellen zum Ergebnis, welche dieser Bedingung genügen. Die entsprechenden Rasterzellen sind in Abbildung 19 dargestellt.

6.1.1 Ergebnisse der Kennzahlenberechnung

Mithilfe des Python-Skripts aus Anhang I wurde jeder der 282 Rasterzellen für jede der 20 Kennzahlen ein standardisierter Wert zwischen 0 und 1 zugeordnet, wobei 0 für den jeweils niedrigsten und 1 für den jeweils höchsten Wert einer Rasterzelle für die jeweilige Kennzahl steht. In Anhang III sind die Rasterzellen mit dem minimalen und maximalen Wert jeder Kennzahl angeführt, um die inhaltliche Bedeutung der einzelnen Kennzahlen zu verdeutlichen. Zum leichteren Verständnis sind die jeweiligen Kennzahlen nicht standardisiert, d. h. in der jeweils ursprünglichen Maßeinheit, angeführt. In Anhang IV ist die räumliche Verteilung ausgewählter Kennzahlen und deren Ausprägung in den einzelnen Rasterzellen - ebenfalls nicht standardisiert - dargestellt.

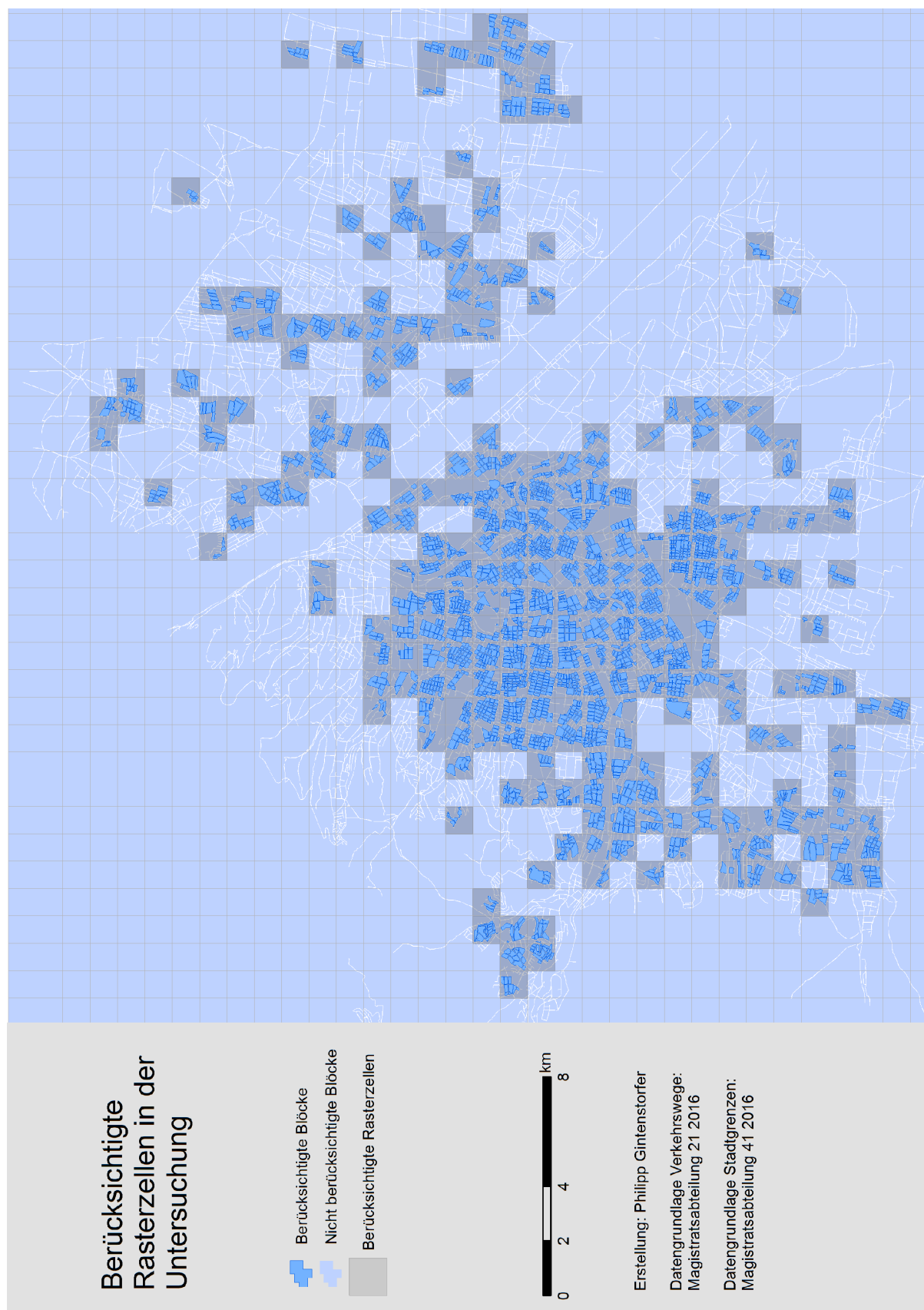


Abbildung 19: Berücksichtigte Rasterzellen in der Untersuchung (Eigene Erstellung)

Interessant ist hierbei etwa, dass manche Rasterzellen bei mehreren Kennzahlen als Extrema vorkommen. So weist etwa die Rasterzelle, welche im Zentrum des 1. Bezirks liegt, sowohl die höchste Kreuzungsdichte, als auch die höchste Verkehrswegedichte, den geringsten Kreuzungsabstand und die geringste durchschnittliche Segmentlänge auf. Eine Rasterzelle im bereits errichteten Teil der Seestadt Aspern hat sowohl die geringste durchschnittliche Verzerrung, als auch die geringste Standardabweichung der Blockgrößen. Ein organisches Muster in Pötzleinsdorf hat sowohl das größte T-Verhältnis, als auch die größten Verzerrungen. Eine Rasterzelle mit rasterförmigem Muster aus dem 10. Bezirk weist sowohl die höchste Anzahl an zusammentreffenden Segmenten, als auch das geringste T-Verhältnis auf. Die Rasterzelle am Verteilerkreis hat den kleinsten durchschnittlichen minimalen Schnittwinkel ebenso wie die kleinste Anzahl an durchschnittlich begrenzenden Segmenten und die höchste Standardabweichung an zusammentreffenden Segmenten.

Diese Erkenntnis, dass manche Kennzahlen ähnliche Ergebnisse für einzelne Rasterzellen liefern - zumindest, was die Minima und Maxima betrifft - deutet bereits die Notwendigkeit des nächsten Schrittes, der Faktorenanalyse, an.

6.1.2 Ergebnisse der Faktorenanalyse

Das faktorenanalytische Verfahren der Hauptkomponentenanalyse, welches zum Ziel hat, die Dimension der 20 Variablen zu reduzieren, ist in 17 Iterationen konvergiert. Fünf Faktoren hatten einen Eigenwert > 1 , welche insgesamt 73,79 % der Gesamtvarianz erklären (vgl. Tabelle 6). Nur diese fünf Faktoren wurden aufgrund ihrer Aussagekraft bezüglich der ursprünglichen Kennzahlen für die weitere Analyse herangezogen. Zur erleichterten Interpretierbarkeit wurde das Ergebnis rotiert. Tabelle 6 gibt einen Überblick über Ladungen der Kennzahlen auf die jeweiligen Faktoren.

Faktoren	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
Erklärte Varianz	30,96 %	15,53 %	12,90 %	8,97 %	5,43 %
Blockfläche DS	0,74	0,02	0,56	-0,01	-0,11
Blockfläche SA	0,41	0,04	0,78	0,05	0,06
Verzerrung DS	0,12	0,20	-0,04	0,84	0,26
Verzerrung SA	-0,09	0,07	-0,01	0,81	0,24
Zentroidabstand DS	0,75	0,15	0,36	0,04	0,03
Zentroidabstand SA	0,50	0,13	0,30	0,30	-0,03
Begrenz. Segmente DS	-0,13	0,18	0,81	-0,07	-0,21
Begrenz. Segmente SA	-0,08	0,26	0,77	0,06	0,20
Min. Schnittwinkel DS	-0,07	-0,06	0,01	-0,26	-0,83
Min. Schnittwinkel SA	-0,01	0,12	0,08	0,28	0,82
Segmentlänge DS	0,94	-0,03	-0,06	0,09	0,01
Segmentlänge SA	0,67	0,20	0,04	0,48	0,01
Kreuzungsabstand DS	0,75	-0,06	-0,13	-0,47	0,03
Kreuzungsabstand SA	0,44	0,44	0,13	0,05	0,18
Verkehrswegdichte	-0,68	-0,57	0,18	0,08	-0,04
Kreuzungsdichte	-0,82	-0,40	0,15	0,06	-0,08
Zusammentreffende Segmente DS	-0,14	-0,79	-0,25	-0,38	0,20
Zusammentreffende Segmente SA	0,01	-0,48	-0,13	-0,11	0,59
T-Verhältnis	0,14	0,78	0,24	0,39	-0,11
Sackgassenverhältnis	0,13	0,56	0,16	-0,08	0,30

Tabelle 6: Rotierte Komponentenmatrix mit besonderer Hervorhebung der rotierten Ladungen $\leq -0,5$ (blau), $-0,5$ bis $-0,25$ (hellblau), $0,25$ bis $0,5$ (hellrot) sowie $\geq 0,5$ (rot) (Eigene Erstellung)

Im Folgenden sollen die einzelnen Faktoren und ihre Merkmale kurz beschrieben werden. Außerdem wird versucht, jeden Faktor möglichst treffend zu benennen.

1. Faktor: Dimensionierung

Der erste und damit gewichtigste Faktor kann als die Dimensionierung des Verkehrswegenetzes beschrieben werden. Kennzahlen, die hoch positiv auf den ersten Faktor laden, sind die durchschnittliche Segmentlänge (0,94), der durchschnittliche Kreuzungsabstand (0,75), der durchschnittliche Zentroidabstand (0,75), die durchschnittliche Blockfläche (0,74), sowie die Standardabweichungen der Segmentlänge (0,67) und des Zentroidabstands (0,50). Hoch negativ auf den ersten Faktor laden die Kreuzungsdichte (-0,82) sowie die Verkehrswegdichte (-0,68), welche mit zunehmender Dimensionierung nachvollziehbarerweise abnehmen.

2. Faktor: Hierarchisierung

Der 2. Faktor kann als Hierarchisierung beschrieben werden. Auf diesen Faktor laden das T-Verhältnis (0,78) sowie das Sackgassenverhältnis (0,56) besonders hoch, wie es typisch ist für hierarchisch gegliederte, meist suburbane Verkehrswegemuster. Negativ auf diesen Faktor laden die Anzahl an zusammentreffenden Segmenten je Kreuzung (0,79) sowie die Verkehrswegedichte (-0,57).

3. Faktor: Dimensionierung einzelner Blöcke

Der 3. Faktor kann als Dimensionierung einzelner Blöcke beschrieben werden. Im Gegensatz zum 1. Faktor, welcher sich auf die Dimension des gesamten Verkehrswegemusters, also insbesondere auch der Verkehrswege selbst, bezieht, beschreibt dieser Faktor vor allem die Größe einzelner Blöcke, während die Variablen zu Dichte und Verkehrswegedimensionierung im durchschnittlichen Bereich liegen. Variablen, die auf diesen Faktor besonders hoch laden, sind der Durchschnitt (0,81) sowie die Standardabweichung (0,77) begrenzender Segmente pro Block sowie die Standardabweichung (0,78) und der Durchschnitt (0,56) der Blockgrößen.

4. Faktor: Verzerrung und Unregelmäßigkeit

Der 4. Faktor beschreibt die Verzerrung und Unregelmäßigkeit des Verkehrsnetzes. Kennzahlen, die auf ihn besonders hoch laden, sind der Durchschnitt (0,84) und die Standardabweichung (0,81) der Verzerrung sowie die Standardabweichung der Segmentlängen (0,60). Die Standardabweichung aller geometrischen Kennzahlen laden positiv auf diesen Faktor, weshalb die Bezeichnung als Unregelmäßigkeitsfaktor durchaus berechtigt ist.

5. Faktor: Anteil spitzer Winkel

Etwas schwerer zu fassen ist der 5. Faktor, auf welchen die Standardabweichung der minimalen Schnittwinkel höchst positiv ladet (0,82), während der Durchschnitt der minimalen Schnittwinkel höchst negativ ladet (-0,83). Verkehrswegemuster, welche dieser Faktor beschreibt, sind also solche mit einer großen Zahl an spitzen Winkeln, welche den Durchschnittswert der minimalen Schnittwinkel absenken, bei gleichzeitiger Existenz von rechten (oder sogar stumpfen) Winkeln, welche für die hohe Standardabweichung sorgen.

6.1.3 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse

Die hierarchische Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren sieht zu Beginn jede Rasterzelle als eigenen Cluster an, und fasst in jedem Schritt die beiden ähnlichsten Cluster zu einem neuen Cluster zusammen, sodass es nach 281 Schritten – der Anzahl an Rasterzellen minus 1 – nur noch einen großen gemeinsamen Cluster gibt. Um beispielhaft zu zeigen, dass diese schrittweise Zusammenfassung jedenfalls auch subjektiv nachvollziehbar ist, sind in Abbildung 20 die drei Rasterzellenpaare dargestellt, wobei die jeweils beiden Rasterzellen im Zuge der hierarchischen Clusteranalyse zuerst zu einem gemeinsamen Cluster zusammengefasst wurden. Am ähnlichsten sind sich demnach zwei rechtwinkelige Verkehrswegemuster im Osten von Essling (links), gefolgt von zwei Gebieten an der Breitenfurter Straße (Mitte) sowie von einem Gebiet in Floridsdorf und einem in Ottakring (rechts).

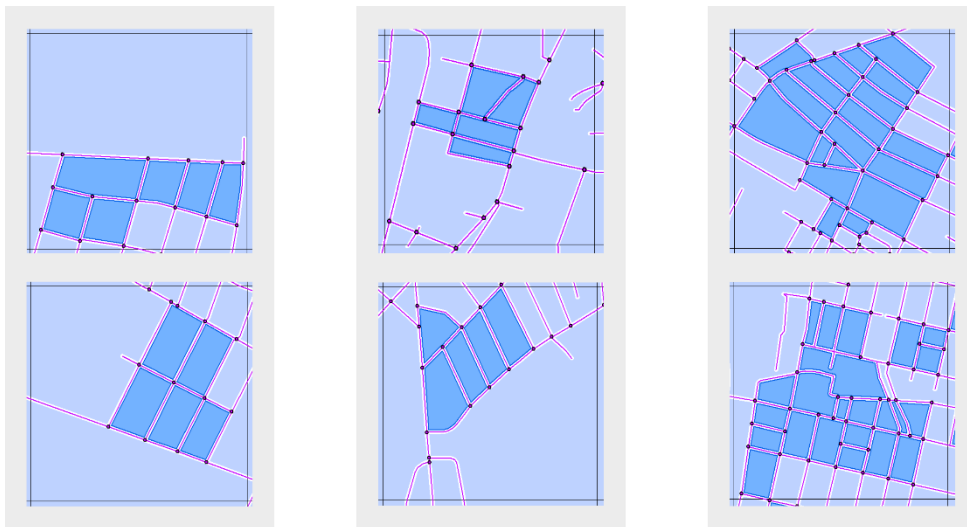


Abbildung 20: Ähnlichste Verkehrswegemuster in Wien (Eigene Erstellung)

Um eine sinnvolle Anzahl an Clustern zu bestimmen, wurde jener Punkt der schrittweisen Zusammenfassung gesucht, ab welchem die Fehlerquadratsumme am deutlichsten ansteigt. Auch wenn dieser Schritt einen gewissen Interpretationsspielraum lässt, lässt sich beim fünftletzten Schritt ein bedeutsamer Anstieg des Koeffizienten von 853,8 auf 943,8 feststellen. Vor diesem Schritt sind noch sechs Cluster vorhanden, welche daher auch als Klassifikationsgrundlage verwendet werden. Abbildung 21 zeigt das Ergebnis dieser Klassifizierung.

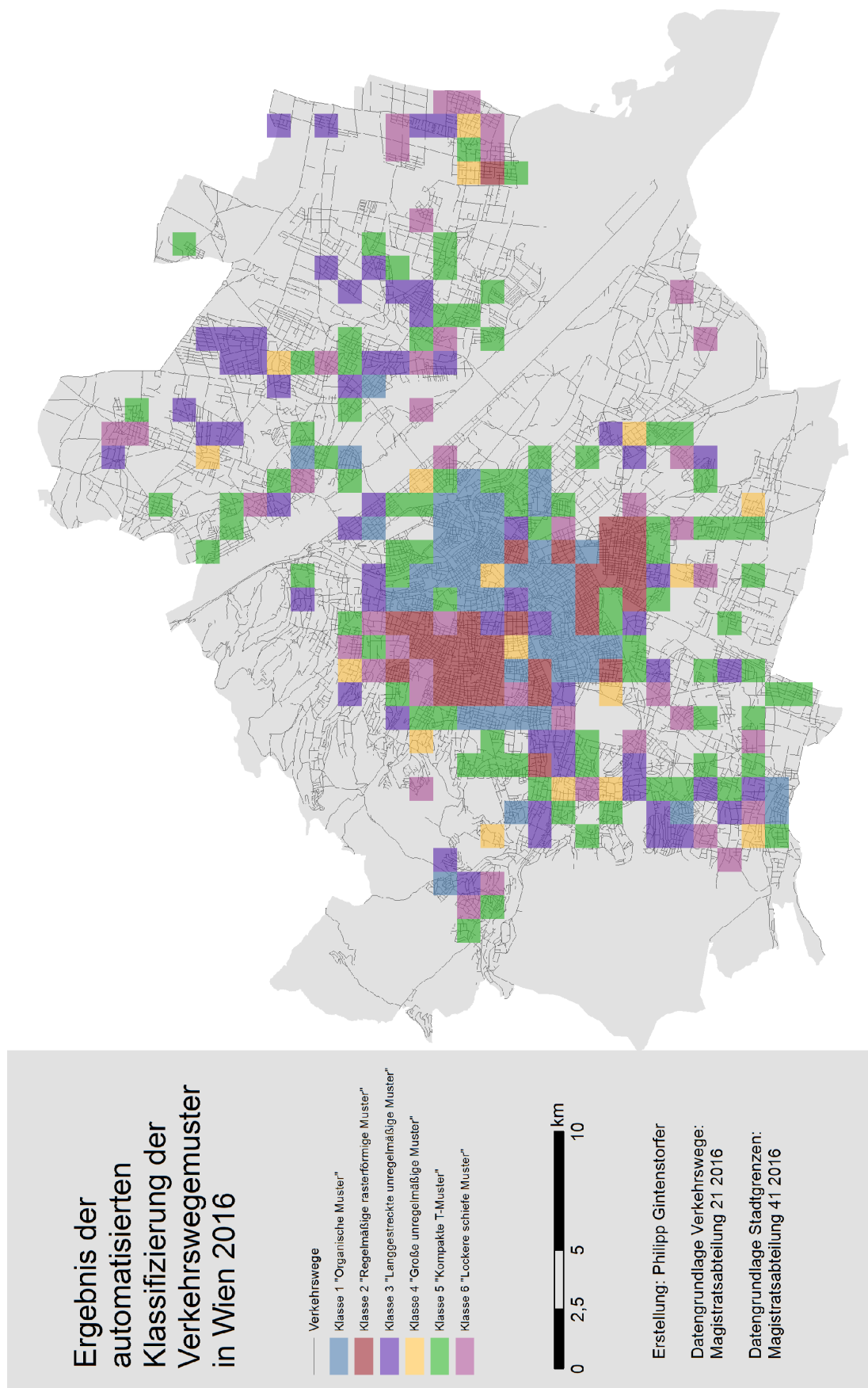


Abbildung 21: Ergebnis der automatisierten Klassifizierung der Verkehrswegemuster in Wien 2016
 (Datengrundlage Verkehrswege: MA21 2016; Datengrundlage Stadtgrenzen: MA41 2016; Eigene Erstellung)

6.1.4 Charakterisierung der resultierenden Klassen

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Durchschnittswerte der Rasterzellen der einzelnen Klassen auf den berechneten, standardisierten Kennzahlen. Die zusätzliche Kennzahl „Unregelmäßigkeit“ beschreibt dabei den Mittelwert der acht Standardabweichungswerte.

Klasse	1	2	3	4	5	6
Anzahl Rasterzellen	47	32	59	18	84	43
Unregelmäßigkeit	0,29	0,18	0,39	0,41	0,30	0,31
Blockfläche DS	0,13	0,14	0,39	0,57	0,22	0,30
Blockfläche SA	0,09	0,06	0,18	0,40	0,10	0,13
Verzerrung DS	0,28	0,12	0,43	0,20	0,25	0,20
Verzerrung SA	0,41	0,18	0,48	0,23	0,29	0,22
Zentroidabstand DS	0,17	0,18	0,42	0,45	0,29	0,35
Zentroidabstand SA	0,19	0,12	0,41	0,37	0,25	0,27
Begrenz. Segmente DS	0,54	0,45	0,48	0,78	0,50	0,44
Begrenz. Segmente SA	0,27	0,15	0,23	0,60	0,26	0,22
Min. Schnittwinkel DS	0,69	0,79	0,67	0,69	0,73	0,63
Min. Schnittwinkel SA	0,49	0,37	0,50	0,51	0,46	0,53
Segmentlänge DS	0,24	0,33	0,63	0,50	0,41	0,55
Segmentlänge SA	0,26	0,13	0,65	0,45	0,39	0,37
Kreuzungsabstand DS	0,24	0,44	0,45	0,51	0,41	0,61
Kreuzungsabstand SA	0,27	0,18	0,38	0,43	0,38	0,39
Verkehrswegdichte	0,65	0,66	0,34	0,39	0,32	0,31
Kreuzungsdichte	0,45	0,39	0,13	0,17	0,17	0,13
Zusammentr. Segmente DS	0,36	0,67	0,28	0,29	0,25	0,47
Zusammentr. Segmente SA	0,30	0,28	0,26	0,26	0,23	0,35
T-Verhältnis	0,65	0,34	0,72	0,72	0,75	0,56
Sackgassenverhältnis	0,07	0,03	0,11	0,21	0,15	0,14

Tabelle 7: Durchschnittswerte der einzelnen Klassen bei den standardisierten Kennzahlen; Klasse mit dem niedrigsten und höchsten Wert bei jeder Kennzahl, sowie nahe an diesen Extrema liegende Werte, sind jeweils farblich hervorgehoben; Unregelmäßigkeit beschreibt den Mittelwert der Standardabweichungswerte (Eigene Erstellung)

Im Folgenden werden die bedeutsamsten Charakteristika der einzelnen Klassen zusammengefasst. Außerdem wird versucht, die einzelnen Klassen mit Namen zu versehen, wobei klar sein muss, dass eine kurze, zusammenfassende Bezeichnung nie alle Facetten einer Klasse, die das Ergebnis einer Aggregation von zwanzig Kennzahlen darstellt, abdecken kann. In Abbildung 22 ist jeweils eine Rasterzelle pro Klasse als ein typischer Vertreter von dieser abgebildet, deren Kennzahlen besonders nah an jenen des Klassendurchschnitts liegen.

Klasse 1 „Organische Muster“

Typisch für Muster der Klasse 1 sind eine hohe Kreuzungsdichte sowie eine hohe Verkehrswegedichte. Dagegen sind der durchschnittliche Kreuzungsabstand, die durchschnittliche Segmentlänge, die durchschnittliche Blockfläche sowie der durchschnittliche Zentroidabstand vergleichsweise gering. Auch die Blockflächen weisen keine allzu hohe Standardabweichung auf. Diese Muster können als organische Muster beschrieben werden, wie sie typischerweise in den historisch gewachsenen, ungeplanten Altstädten und alten Ortskernen vorkommen. In diese Klasse fallen insbesondere Gebiete der Innenstadt und entlang des Donaukanals und des Wienflusses.

Klasse 2 „Regelmäßige rasterförmige Muster“

Muster der Klasse 2 weisen einen hohen minimalen Schnittwinkel, eine hohe Verkehrswegedichte, eine geringe Verzerrung, ein geringes T-Verhältnis und ein geringes Sackgassenverhältnis auf - allesamt Erkennungszeichen von rechtwinkligen, rasterförmigen Verkehrswegemustern. Auch die durchschnittliche Blockfläche ist sehr gering. Auffallend ist insbesondere auch, dass sämtliche Werte der Standardabweichungen sehr niedrig sind, was für ein ausgesprochen regelmäßiges Muster spricht, wie es von einer rechtwinkligen Rasterstruktur auch erwartet wird. Das Muster weist mit 0,18 die mit Abstand geringste Unregelmäßigkeit auf. Diese Klasse ist insbesondere im Westen und im Süden Wiens in den Gebieten der gründerzeitlichen Rasterstrukturen anzutreffen.

Klasse 3 „Langgestreckte unregelmäßige Muster“

Muster der Klasse 3 zeichnen sich durch sehr hohe durchschnittliche Segmentlängen, sehr große Verzerrungen sowie hohe Unterschiede zwischen den Werten aus - sämtliche Kennzahlen für Standardabweichungen sind bei dieser Klasse überdurchschnittlich hoch. Diese Muster kommen in der gesamten Stadt, insbesondere aber außerhalb des Zentrums vor.

Klasse 4 „Große unregelmäßige Muster“

Muster der Klasse 4 haben mit Abstand die größten durchschnittlichen Blockflächen sowie deren Standardabweichung und ebenso deutlich die meisten begrenzenden Segmente sowie deren Standardabweichung. Außerdem weist diese Klasse hohe durchschnittliche Zentroidabstände auf. Außerdem sind auch sämtliche andere Standardabweichungswerte sehr hoch und die Klasse weist daher mit 0,41 die höchste Unregelmäßigkeit auf. Auch das Sackgassenverhältnis ist bei dieser Klasse so hoch wie bei keinem anderen. Diese Muster kommen in der gesamten Stadt vor, bevorzugt aber außerhalb des Zentrums.

Klasse 5 „Kompakte T- Muster“

Muster der Klasse 5 sind durch ein sehr hohes T-Verhältnis und durch eine niedrige Anzahl an zusammentreffenden Segmenten geprägt. Dies spricht beides für eine hohe Anzahl an T-Kreuzungen in diesen Gebieten. Muster dieser Klasse kommen in allen zentrumsfernen Gebieten Wiens vor.

Klasse 6 „Lockere schiefe Muster“

Muster der Klasse 6 weisen geringe Durchschnittswerte für die minimalen Schnittwinkel auf, allerdings mit einer hohen Standardabweichung. Wie schon im Zusammenhang mit dem fünften Faktor erörtert, spricht dies für eine Kombination aus spitzwinkligen Kreuzungen mit recht- und stumpfwinkligen Kreuzungen. Außerdem ist der Kreuzungsabstand bei dieser Klasse am höchsten, und die Verkehrswegedichte sowie die Kreuzungsdichte am niedrigsten, was für sehr lockere Muster spricht. Die durchschnittliche Verzerrung und deren Standardabweichung ist relativ gering. Die hohe Standardabweichung für Zusammentreffende Segmente spricht für unterschiedliche Netzkonfigurationen innerhalb der Rasterzellen. Auch diese Muster beschränken sich auf die Stadtrandgebiete Wiens.



Abbildung 22: Ausgewählte typische Vertreter der sechs Verkehrswegemusterklassen (Eigene Erstellung)

6.2 Ergebnisse der Bestimmung von Verkehrsaufkommen und Verkehrsunfallrisiko

In diesem Unterkapitel soll beschrieben werden, welche Ergebnisse die Bestimmung des Verkehrsaufkommens sowie die darauf aufbauende Berechnung des Verkehrsunfallrisikos für jedes Verkehrswegesegment lieferten.

6.2.1 Bestimmung des Verkehrsaufkommens

Von den insgesamt 223 Messstellen wurden 98 den Bundesstraßen, 100 den Landesstraßen sowie 25 den Gemeindestraßen zugeordnet. Die jeweils gemessene JDTV bewegt sich in einem Rahmen von 321 (Höhenstraße nach Leopoldsberg stadtauswärts) bis 43.993 (Mariahilfer Gürtel bei Mittelgasse in Richtung Norden).

Die Interpolation des Verkehrsaufkommens anhand der an den Messstellen gemessenen Werte unter Berücksichtigung der jeweiligen Verkehrswegehierarchie führte zu dem in Abbildung 23 dargestellten Ergebnis. Deutlich zu sehen ist, dass es sehr viele Verkehrswege mit relativ niedrigem Verkehrsaufkommen und wenige Verkehrswege mit relativ hohem Verkehrsaufkommen gibt.

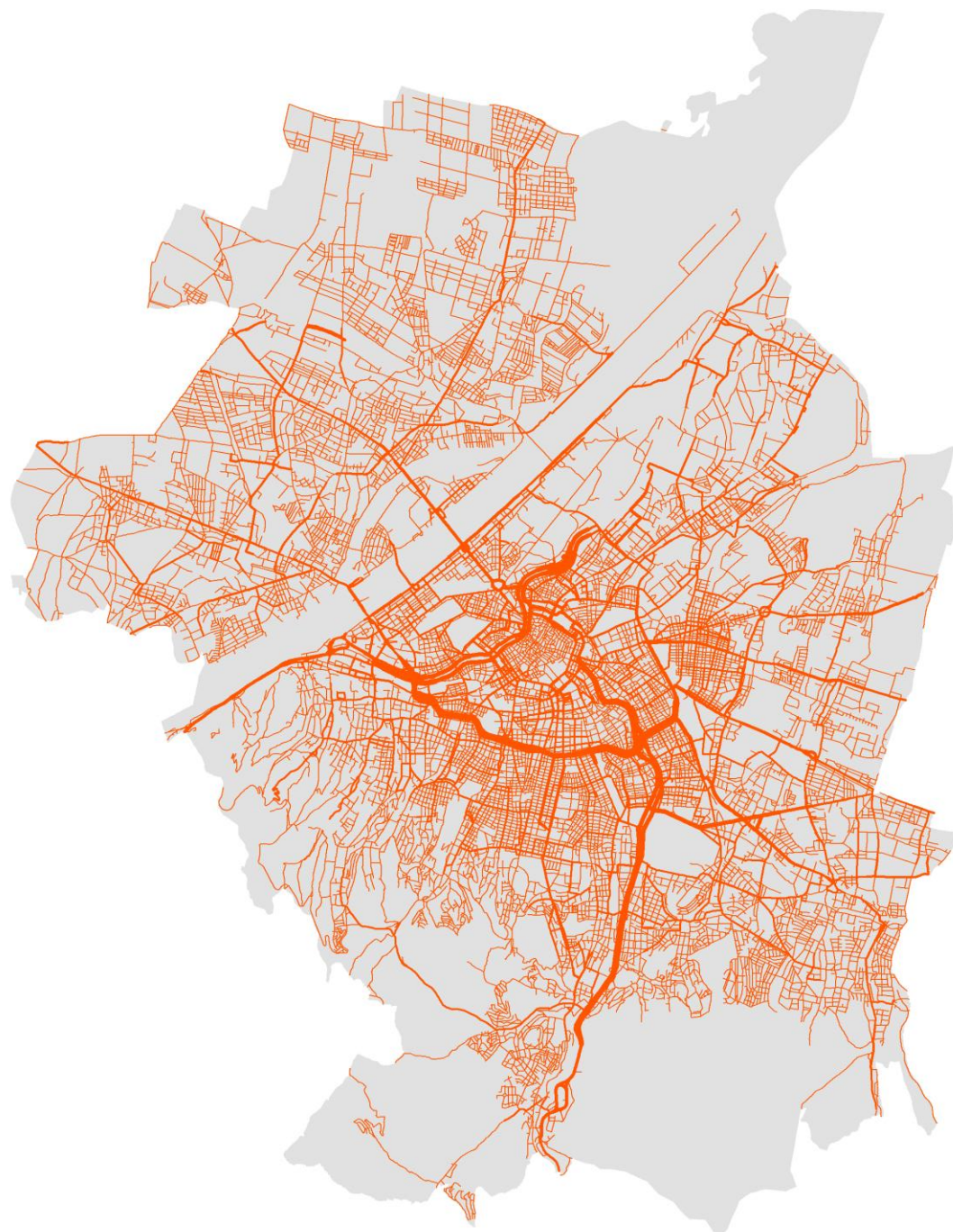
6.2.2 Bestimmung des allgemeinen Verkehrsunfallrisikos

Mithilfe des Verkehrsaufkommens konnte in weiterer Folge das allgemeine Verkehrsunfallrisiko für jedes Verkehrswegesegment bestimmt werden, wobei das Ergebnis in Abbildung 24 dargestellt ist. Dieses wurde anschließend auf Rasterzellenebene aggregiert, indem für jede Rasterzelle der Mittelwert der Verkehrsunfallrisiken der darin enthaltenen Verkehrswegesegmente gebildet wurde. Das Ergebnis dieser Aggregation ist in Abbildung 25 dargestellt.

6.2.3 Bestimmung des geschlechterspezifischen Verkehrsunfallrisikos

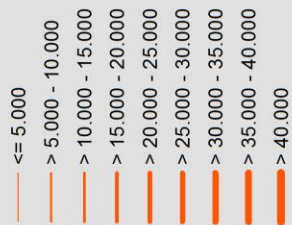
Das berechnete Verkehrsaufkommen wurde für die gruppenspezifischen Analysen außerdem auf die einzelnen Gruppen aufgeteilt und auf Basis dessen wurde das jeweilige, gruppenspezifische Verkehrsunfallrisiko bestimmt, d. h. das Skript aus Anhang II wurde für jede Gruppe getrennt durchlaufen.

Für die Bestimmung des geschlechterspezifischen Verkehrsunfallrisikos wurde angenommen, dass sich das Verkehrsaufkommen jedes einzelnen Verkehrswegesegments gleichmäßig auf die beiden Geschlechter verteilt, d.h. der Inputparameter Weglängenanteil wurde jeweils auf 0,5 gesetzt. Die räumliche Verteilung des Verkehrsunfallrisikos beider Geschlechter an den einzelnen Verkehrswegesegmenten ist in Anhang V zu sehen. Neben dem generellen Verkehrsunfallrisiko wurde für beide Geschlechter auch das Risiko berechnet, als Hauptverursachender in einen Verkehrsunfall involviert zu werden.



Verkehrsaufkommen in Wien 2010

Verkehrsaufkommen (JD TV)



Erstellung: Philipp Gintensterfer

Datengrundlage Verkehrsaufkommen:
Magistratsabteilung 18 2016

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016

Abbildung 23: Verkehrsaufkommen (JD TV) in Wien 2010 (Eigene Erstellung)



Abbildung 24: Allgemeines Verkehrsunfallrisiko je Verkehrswegsegment in Wien 2016 (Eigene Erstellung)

Dabei ließ sich das Ergebnis der Studie von KAM (vgl. 2002; Kapitel 4.1.2) reproduzieren, wonach Männer ein deutlich höheres Verkehrsunfallrisiko aufweisen als Frauen, sowohl bei der allgemeinen Beteiligung (0,78 bzw. 0,33 VUPS / d / km ppm), als auch bei der Beteiligung als Hauptverursachender (0,34 bzw. 0,11 VUPS / d / km ppm).

6.2.4 Bestimmung des verkehrsmittelspezifischen Verkehrsunfallrisikos

Zur Bestimmung des verkehrsmittelspezifischen Verkehrsaufkommens wurde zuerst der jeweilige Weglängenanteil bestimmt. Die entsprechenden Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse sind in Tabelle 8 angeführt. Den höchsten Weglängenanteil hält demnach der ÖV mit 48,6%, gefolgt vom ZMIV mit 43,4 %, den Fußgängerinnen und Fußgängern mit 3,6 %, dem NMIV mit 2,7 % und dem EMIV mit 1,7 %.

Verkehrsmittel	Modal Split	Durchschnittliche Weglänge	Weglängenanteil
Fußgänger	27 %	1,2 km	3,6 %
NMIV	7 %	3,4 km	2,7 %
ÖV	39 %	11,2 km	48,6 %
EMIV	1 %	15,0 km	1,7 %
ZMIV	26 %	15,0 km	43,4 %

Tabelle 8: Berechnung des Weglängenanteils der einzelnen Verkehrsmittel (Datenquelle Modal Split: FAHRRAD WIEN 2016; Datenquelle Durchschnittliche Weglänge: BMVIT 2016 Anhang C / Teil 3 / Seite 10; Eigene Erstellung)

Für jedes Verkehrswegesegment wurde anschließend das gesamte Verkehrsaufkommen mit dem Weglängenanteil des jeweiligen Verkehrsmittels multipliziert, um das Verkehrsaufkommen des entsprechenden Verkehrsmittels zu erhalten. Darauf aufbauend wurde das Verkehrsunfallrisiko für das jeweilige Verkehrsmittel bestimmt. Die räumliche Verteilung des Verkehrsunfallrisikos für die einzelnen Verkehrsmittel auf Ebene der Verkehrswegesegmente ist Anhang V zu entnehmen. Auch hier wurde neben dem generellen Verkehrsunfallrisiko auch das Risiko für jedes Verkehrsmittel berechnet, als Hauptverursachender in einen Verkehrsunfall involviert zu werden.

Auf diese Weise wurde festgestellt, dass der EMIV mit 2,72 VUPS / d / km ppm das höchste Risiko aufweist, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden. Dahinter folgen die Fußgängerinnen und Fußgänger mit 2,05 VUPS / d / km ppm, knapp gefolgt vom NMIV mit 1,99 VUPS / d / km ppm. Der ZMIV hat ein Verkehrsunfallrisiko von 0,86 VUPS / d / km ppm und der ÖV ein extrem geringes Risiko von 0,04 VUPS / d / km ppm. Eine etwas andere Reihenfolge ergibt sich bei den Beteiligungen als Hauptunfallverursachende. Hier hat der EMIV wiederum den höchsten Wert mit 0,66 VUPS / d / km ppm, gefolgt vom

NMIV (0,47 VUPS / d / km ppm), dem ZMIV (0,45 VUPS / d / km ppm) und den Fußgängerinnen und Fußgängern (0,39 VUPS / d / km ppm). Der ÖV ist mit 0,01 VUPS / d / km ppm als Hauptverursachender nahezu zu vernachlässigen.

6.3 Ergebnisse der Berechnungen zum Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko

Nach Darlegung der Zwischenergebnisse soll nun der Fokus auf die Hauptergebnisse zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit gerichtet werden, der Analyse des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko. Dabei soll zuerst der allgemeine Einfluss beschrieben werden, anschließend der geschlechterspezifische und schließlich der verkehrsmittelspezifische Einfluss.

6.3.1 Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und gesamtem Verkehrsunfallrisiko

Zuerst soll auf das Ergebnis der Varianzanalyse zur Ermittlung des Einflusses des Verkehrswegemusters auf das allgemeine Verkehrsunfallrisiko eingegangen werden. Die erklärte Varianz zwischen den Gruppen beträgt 2,58, jene innerhalb der Gruppen 0,14, was eine Varianzaufklärung von 94,9 % bedeutet. Die Prüfgröße F beträgt 18,07. Mit einem Wert von 0,000 ist dieses Ergebnis höchst signifikant. Damit wurde festgestellt, dass das Verkehrswegemuster jedenfalls einen sehr starken Einfluss auf das Verkehrsunfallgeschehen hat.

In einem weiteren Schritt wurde bestimmt, auf welche Weise sich dieser signifikante Einfluss bemerkbar macht, indem für jede Verkehrswegemusterklasse der Mittelwert der Verkehrsunfallrisiken aller Rasterzellen dieser Klasse berechnet wurde. Dabei zeigte sich, dass Rasterzellen der Klasse 2 („Regelmäßige rasterförmige Muster“) mit einem Mittelwert von 1,1 das mit Abstand höchste Verkehrsunfallrisiko aufweisen, gefolgt von Rasterzellen der Klasse 1 („Organische Muster“) mit einem Mittelwert von 0,74. Die übrigen vier Klassen, welche tendenziell außerhalb des Gürtels anzutreffen sind, haben sehr ähnliche, niedrige Mittelwerte beim Verkehrsunfallrisiko, welche sich im Bereich zwischen 0,44 und 0,51 bewegen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 angeführt. Abbildung 25 zeigt die räumliche Verteilung der Verkehrswegemusterklassen sowie der Mittelwerte des Verkehrsunfallrisikos, wobei hier auch sehr gut erkennbar ist, dass die rasterförmigen Zellen der Klasse 2 die höchsten Verkehrsunfallrisikowerte aufweisen.

Klasse	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	0,74	1,10	0,46	0,51	0,46	0,44
Standardabweichung	1,37	1,68	1,01	1,08	1,05	1,01

Tabelle 9: Mittelwert und Standardabweichung des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung)

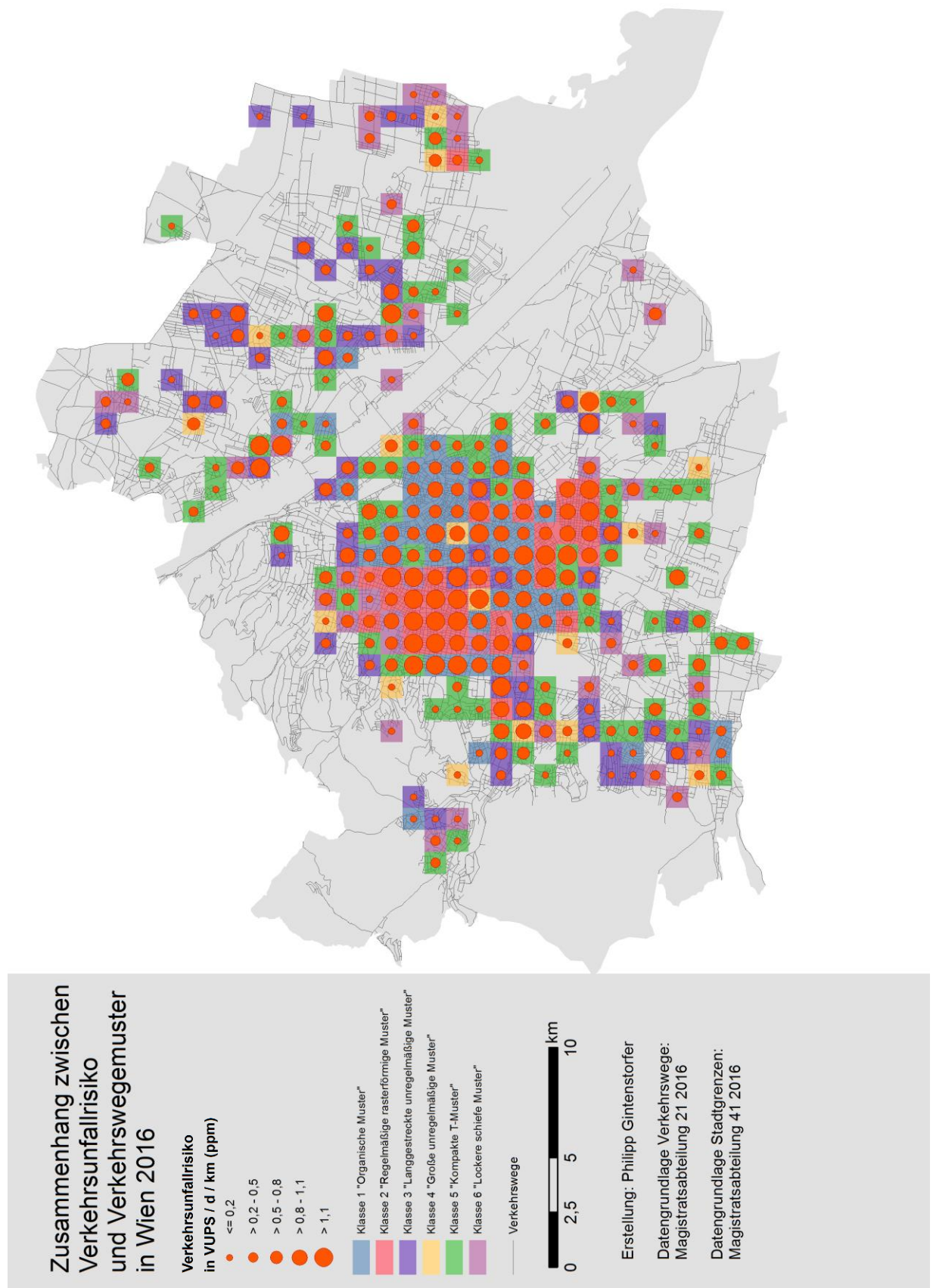


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Verkehrsunfallrisiko und Verkehrswegemuster in Wien 2016 (Eigene Erstellung)

6.3.2 Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und nach Geschlechtern getrenntem Verkehrsunfallrisiko

Nach diesem Gesamtergebnis soll auf die Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern eingegangen werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 10 angeführt. In Hinblick auf die Fragestellung lässt sich bei beiden Geschlechtern ein ähnlicher Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko erkennen, welches bei den Männern jeweils entsprechend höher ist. Alle Ergebnisse sind höchst signifikant. Das Muster mit dem höchsten Risiko ist demnach wiederum Klasse 2 („Regelmäßige rasterförmige Muster“) mit einem Wert von 1,53 VUPS / d / km ppm bei den Männern und 0,57 VUPS / d / km ppm bei den Frauen, mit deutlichem Abstand vor Klasse 1 („Organische Muster“) mit 1,01 VUPS / d / km ppm bei den Männern und 0,41 VUPS / d / km ppm bei den Frauen und dieses wiederum deutlich vor den übrigen vier Klassen, welche annähernd gleiche Verkehrsunfallrisiken bei beiden Geschlechtern aufweisen, in einem Bereich von 0,56 bis 0,68 VUPS / d / km ppm bei den Männern und 0,23 bis 0,30 VUPS / d / km ppm bei den Frauen. Für die Beteiligungen als Hauptunfallverursachende gelten dieselben Tendenzen auf entsprechend niedrigerem Niveau. Insofern kann festgehalten werden, dass es keine geschlechterspezifischen Unterschiede bezüglich der Auswirkungen des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen gibt.

Gruppe	1	2	3	4	5	6	Ges.	Signi- fikanz
Gesamt	0,74	1,10	0,46	0,51	0,46	0,44	0,58	0,000
Beteiligung männl.	1,01	1,53	0,65	0,68	0,60	0,56	0,78	0,000
Beteiligung weibl.	0,41	0,57	0,23	0,30	0,28	0,27	0,33	0,000
Hauptverur. männl.	0,45	0,66	0,28	0,30	0,26	0,25	0,34	0,000
Hauptverur. weibl.	0,13	0,19	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,000

Tabelle 10: Mittelwert des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen nach Beteiligungen der beiden Geschlechter insgesamt und als Hauptverursachende in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung)

6.3.3 Zusammenhang zwischen Verkehrswegemustern und nach Verkehrsmitteln getrenntem Verkehrsunfallrisiko

Deutlich differenzierter sind die Ergebnisse der verkehrsmittelspezifischen Untersuchung, welche Tabelle 11 zu entnehmen sind. Zuallererst ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Beteiligungen für alle Verkehrsmittel signifikant sind, während bei den Ergebnissen der Beteiligungen als Hauptverursachende lediglich jene der Fußgängerinnen und Fußgänger,

des NMIV und des ZMIV signifikant sind, während jene des ÖV und EMIV das gewählte Signifikanzniveau von 0,05 nicht erreichen.

Bei den gesamten Beteiligungen lässt sich feststellen, dass die Muster der Klassen 1 und 2 für alle Verkehrsmittel das höchste Risiko aufweisen. Dabei weisen die Muster der Klasse 2 („Regelmäßige rasterförmige Muster“) für den ÖV, den EMIV und dem ZMIV das höchste Verkehrsunfallrisiko auf. Anders verhält es sich bei den Fußgängerinnen und Fußgängern sowie beim NMIV. Für diese Gruppen stellen Muster der Klasse 1 („Organische Muster“) mit 2,80 bzw. 3,97 VUPS / d / km ppm das höchste Risiko dar.

Interessant ist die Verteilung der übrigen Klassen 3 bis 6, die zwar wiederum für alle Gruppen risikoärmer sind als die Klassen 1 und 2, allerdings bei der verkehrsmittelspezifischen Analyse deutliche Unterschiede aufweisen, im Gegensatz zu den sehr einheitlichen Werten bei der allgemeinen und der geschlechterspezifischen Analyse. Im Folgenden sollen diese vier Klassen als suburbane Klassen bezeichnet werden. Einzig beim ÖV (0,03 bis 0,05 VUPS / d / km ppm) und beim ZMIV (0,65 bis 0,73 VUPS / d / km ppm) sind die Werte der suburbanen Klassen wiederum äußerst ähnlich. Bei den Fußgängerinnen und Fußgängern bzw. für den NMIV stellt die Klasse 4 („Große unregelmäßige Muster“) die mit Abstand risikoreichste suburbane Klasse dar (1,99 bzw. 2,18 VUPS / d / km ppm). Die risikoärmsten Muster sind für Fußgängerinnen und Fußgänger jene der Klasse 6 („Lockere schiefe Muster“) mit einem Wert von 1,41 VUPS / d / km ppm und für den NMIV und den EMIV, also die einspurigen Verkehrsmittel, die Muster der Klasse 3 („Langgestreckte unregelmäßige Muster“) mit den Werten 1,14 bzw. 1,99 VUPS / d / km ppm.

Bei den Beteiligungen als Hauptunfallverursachende sind Muster der Klasse 2 („Regelmäßige rasterförmige Muster“) für alle Verkehrsmittel jene mit dem höchsten Risiko, einen Verkehrsunfall zu verursachen, mit Ausnahme des NMIV, welcher bei Mustern der Klasse 1 („Organische Muster“) ein geringfügig höheres Risiko aufweist (0,85). Die Klassen 1 und 2 stellen für alle Verkehrsmittel jene mit dem höchsten Risiko in Bezug auf die Verkehrsunfallverursachung dar. Der NMIV ist auch für relativ viele Verkehrsunfälle in Mustern der Klasse 4 („Große unregelmäßige Muster“) verantwortlich, dagegen verursacht er bei Mustern der Klasse 6 („Lockere schiefe Muster“) relativ wenige Verkehrsunfälle. Eine ähnliche Tendenz, allerdings mit einer weniger starken Ausprägung, ist bei den Fußgängerinnen und Fußgängern erkennbar. Bei den übrigen Verkehrsmitteln sind die Beteiligungen als Hauptverursachende bei den suburbanen Klassen 3 bis 6 annähernd gleich, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Verteilung bei ÖV und EMIV aufgrund der fehlenden Signifikanz auch zufällig entstanden sein könnte.

Gruppe	1	2	3	4	5	6	Ge- samt	Signi- fikanz
Gesamt	0,74	1,10	0,46	0,51	0,46	0,44	0,58	0,000
Beteiligung FG	2,80	3,72	1,52	1,99	1,70	1,41	2,05	0,000
Beteiligung NMIV	3,97	3,30	1,14	2,18	1,27	1,38	1,99	0,000
Beteiligung ÖV	0,05	0,08	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,034
Beteiligung EMIV	3,38	4,94	1,99	2,46	2,36	2,17	2,72	0,000
Beteiligung ZMIV	1,01	1,72	0,72	0,73	0,69	0,65	0,86	0,000
Hauptverur. FG	0,54	0,71	0,37	0,50	0,27	0,20	0,39	0,002
Hauptverur. NMIV	0,85	0,82	0,37	0,75	0,27	0,19	0,47	0,000
Hauptverur. ÖV	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,137
Hauptverur. EMIV	0,86	0,95	0,61	0,53	0,58	0,53	0,66	0,494
Hauptverur. ZMIV	0,55	0,87	0,34	0,37	0,36	0,36	0,45	0,000

Tabelle 11: Mittelwert des Verkehrsunfallrisikos der einzelnen Verkehrswegemusterklassen nach Beteiligungen der einzelnen Verkehrsmittel insgesamt und als Hauptverursachende in VUPS / d / km ppm (Eigene Erstellung)

6.4 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen die beschriebenen Ergebnisse interpretiert werden, um insbesondere eine Antwort auf Fragestellung V geben zu können, welche Erklärungen für die gefundenen Einflüsse des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko gegeben werden können. Bei der Interpretation ist insbesondere die Erkenntnis aus Kapitel 4 zu berücksichtigen, dass die überwiegende Mehrheit der Verkehrsunfälle durch bewusstes Fehlverhalten von MIV-Lenkerinnen und -Lenkern verursacht werden.

Zuerst soll eine Erklärung für das hohe Risiko von Mustern der Klasse 2 („Regelmäßige rasterförmige Muster“) über alle Gruppen hinweg gefunden werden. Diese Erkenntnis schließt an die Ergebnisse der meisten Untersuchungen aus Calgary an (vgl. Kapitel 4.5), welche ebenfalls zur Erkenntnis kamen, dass rasterförmige Muster ein höheres Risiko darstellen als suburbane Muster. In Anlehnung an RIFAAT UND TAY (vgl. 2009b: 249) kann also vermutet werden, dass die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer die suburbanen Gebiete stärker als Wohngebiete wahrnehmen als Gebiete mit rasterförmigen Verkehrswegemustern und im Sinne der Risikokompensationstheorie daher ihre Geschwindigkeit reduzieren, während rasterförmige Verkehrswegemuster eher als „Durchzugsgegenden“ mit flächenhaftem Vorkommen von Durchzugsstraßen („alle Straßen mit relativ viel Verkehr“) wahrgenommen werden, bei welchen höhere und oft überhöhte Geschwindigkeiten gewählt werden und letztere Muster eher als Wohngebiete („viele

Straßen mit sehr wenig Verkehr, wenige Straßen mit sehr viel Verkehr“), in welchen die Geschwindigkeit entsprechend reduziert wird. Auch sind bei rasterförmigen Verkehrswegemustern eventuell die Vorrangverhältnisse oft nicht so eindeutig wie bei hierarchischen Mustern. Die Lenkung der Aufmerksamkeit der MIV-Lenkerinnen und -Lenkern in den geradlinigen, rasterförmigen Mustern weit nach vorne reduziert außerdem das periphere Sehen.

Das ebenfalls erhöhte Risiko von Verkehrswegemustern der Klasse 1 („Organische Muster“) kann mit der hohen Kreuzungsdichte zusammenhängen, da ein hoher Anteil an Unfällen an Kreuzungen passiert. Auch der hohe Kurvenanteil dieser Muster kann zu unübersichtlichen Situationen und damit in Kombination mit riskantem Verkehrsverhalten zu einem höheren Verkehrsunfallrisiko führen. Vorrangverhältnisse an Kreuzungen sind hier ebenso weniger eindeutig wie bei hierarchischen Mustern.

Die fehlenden Unterschiede zwischen Frauen und Männern in Hinblick auf den Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallrisiko zeigt, dass geschlechterspezifische Wahrnehmungs- und Verhaltensmuster keine Auswirkungen auf diesen Zusammenhang haben. Dies ist insbesondere bemerkenswert, als dass geschlechterspezifische Wahrnehmungs- und Verhaltensmuster sehr wohl einen starken Einfluss auf das Verkehrsunfallgeschehen haben, wie die sehr unterschiedlichen Verkehrsunfallrisiken für Frauen und Männer deutlich zeigen.

Die unterschiedlichen Verkehrsunfallrisiken der einzelnen Verkehrsmittel können insbesondere mit den unterschiedlichen Geschwindigkeiten und den unterschiedlichen Wahrnehmungs- und Handlungsmöglichkeiten, aber auch wiederum mit den unterschiedlichen Wahrnehmungs- und Verhaltensmustern erklärt werden.

Für Fußgängerinnen und Fußgänger sowie für den NMIV sind Muster der Klasse 1 die risikoreichsten Muster, mit einem noch höheren Verkehrsunfallrisiko als jene der Klasse 2. Dies kann etwa damit erklärt werden, dass diese Gruppen in rasterförmigen Mustern noch eher von der weiten Sicht profitieren, welche bei organischen Mustern nicht in demselben Ausmaß gegeben ist, und ihre Aufmerksamkeit nicht so weit nach vorne richten wie MIV-Lenkerinnen und -Lenker.

Dass für Fußgängerinnen und Fußgänger bzw. für den NMIV Muster der Klasse 4 („Große unregelmäßige Muster“) die mit Abstand risikoreichsten der suburbanen Klassen darstellen, könnte etwa damit zusammenhängen, dass der MIV aufgrund der hohen Kreuzungsabstände hier höhere Geschwindigkeiten erreicht als bei anderen suburbanen Mustern, und die ungeschütztesten Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer daher besonders gefährdet sind, während die Unregelmäßigkeit gleichzeitig die Berechenbarkeit der Verkehrssituationen und die Eindeutigkeit der Vorrangverhältnisse senkt. Großdimensionierte, unregelmäßige Kreuzungen, die oft stark auf den MIV ausgerichtet sind, können für Fußgängerinnen und Fußgänger, aber auch für den NMIV oft unübersichtlich und risikoreich sein.

Muster der Klasse 6 („Lockere schiefe Muster“) haben für Fußgängerinnen und Fußgänger das geringste Risiko. Diese Gebiete werden wohl am stärksten als Wohngegenden wahrgenommen, durch ihre Unregelmäßigkeit, ihre Lockerheit und natürlich auch durch ihre bauliche Erscheinung.

Für die einspurigen Fahrzeuge, den NMIV und den EMIV, haben die Muster der Klasse 3 („Langgestreckte unregelmäßige Muster“) das geringste Risiko, in einen Verkehrsunfall involviert zu werden. Diese Gruppen profitieren hier vermutlich von den langen, gut einsehbaren Segmenten und der geringen Kreuzungsdichte.

Dass Fußgängerinnen und Fußgänger sowie der NMIV für vergleichsweise viele Verkehrsunfälle in Mustern der Klasse 4 („Große unregelmäßige Muster“) verantwortlich sind, dafür bei Mustern der Klasse 6 („Lockere schiefe Muster“) relativ wenige Verkehrsunfälle verursachen, kann wiederum mit der Wahrnehmung der ersteren Muster als Durchzugsgegenden zusammenhängen. Scheinbar passen Fußgängerinnen und Fußgänger sowie der NMIV ihr Sicherheitsverhalten angemessener an die jeweilige Umgebung und deren Wahrnehmung an als motorisierte Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer.

Unterm Strich stellen diese Interpretationen aber lediglich Vermutungen dar, welche sich an der einschlägigen Literatur orientieren. Mit Gewissheit kann im Rahmen dieser Arbeit lediglich festgestellt werden, welche Verkehrswegemuster zu höheren oder geringeren Verkehrsunfallrisiken führen. Für die Bestätigung der interpretierten kausalen Zusammenhänge wären jedenfalls weitere Untersuchungen auf individueller Ebene notwendig, um eventuelle ökologische Fehlschlüsse zu vermeiden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob das Verkehrswegemuster einen signifikanten Einfluss auf das Verkehrsunfallrisiko hat, und falls dies zutrifft, welche Verkehrswegemuster in diesem Zusammenhang als besonders sicher bzw. unsicher eingestuft werden können. Die Untersuchung wurde dabei sowohl allgemein durchgeführt, als auch getrennt nach beiden Geschlechtern und den einzelnen Verkehrsmitteln.

Als Untersuchungsgebiet diente die Stadt Wien. Die Analysen wurden mithilfe von Methoden der Geoinformation und der Statistik durchgeführt, wobei zur Klassifizierung der Verkehrswegemuster eine umfassende GIS-basierte, automatisierte Analyse entwickelt wurde, die in dieser Weise bisher in keiner anderen, mir bekannten Arbeit durchgeführt wurde.

Die Untersuchung zeigt, dass rasterförmige Verkehrswegemuster ein besonders hohes Verkehrsunfallrisiko aufweisen, und zwar über alle Verkehrsmittel und beide Geschlechter hinweg. Organische Verkehrswegemuster, wie sie in historisch gewachsenen Stadtteilen vorkommen, sind demnach die zweitriskantesten Muster, während die modernen, suburbanen Muster, die oft eine klare Hierarchisierung besitzen, ähnliche, niedrige Verkehrsunfallrisiken aufweisen.

Während die Untersuchung keine geschlechterspezifischen Unterschiede in Hinblick auf die Auswirkungen des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen feststellen konnte, wurde bei der verkehrsmittelspezifischen Analyse insbesondere festgestellt, dass es einen deutlichen Unterschied zwischen motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern gibt, was den Einfluss des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen betrifft.

Für Stadterweiterungsgebiete kann in Hinblick auf die Verkehrssicherheit jedenfalls die Empfehlung gegeben werden, rechtwinkelige, rasterförmige Verkehrswegemuster ebenso wie regellose, organische Verkehrswegemuster zu vermeiden und stattdessen auf nichtlineare, hierarchische, regelmäßige und berechenbare Muster zu setzen – wobei die Verkehrssicherheit nur einer von vielen Aspekten zur Entscheidung für ein bestimmtes Verkehrswegemuster ist. Insbesondere in Hinblick auf die Verkehrssicherheit von nicht motorisierten Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern sind lockere, schiefe Muster großdimensionierten, unregelmäßigen Mustern vorzuziehen.

Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass vergleichbare Studien in anderen Untersuchungsgebieten zu ähnlichen Ergebnissen kommen würden, könnten sich durchaus Abweichungen ergeben. Die bauliche Ausstattung einzelner Verkehrswegemuster in verschiedenen Städten, insbesondere auch in verschiedenen Kulturkreisen, kann durchaus unterschiedliche Einflüsse der Verkehrswegemuster auf das Verkehrsunfallgeschehen zur Folge haben. Auch der Modal Split und das Vorhandensein adäquater Infrastruktur für die einzelnen Verkehrsmittel hat Einfluss auf deren jeweiliges Verkehrsunfallrisiko, was wiederum den Einfluss der Verkehrswegemuster auf das Verkehrsunfallrisiko der einzelnen Verkehrsmittel mitbeeinflussen könnte.

Außerdem ist zu bedenken, dass diese Ergebnisse über die Auswirkungen des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen lediglich eine Momentaufnahme

darstellen und sich die Rahmenbedingungen ständig ändern. Insbesondere die zunehmende Veränderung des Verkehrsverhaltens der Bevölkerung, und die damit einhergehenden Veränderungen im Modal Split, werden merkliche Konsequenzen in den Verkehrsunfallmustern nach sich ziehen. Bei jungen Menschen geht die PKW-Nutzung stark zurück, während nicht-motorisierter und öffentlicher Verkehr an Bedeutung gewinnen. Weiters führt insbesondere die zunehmende Mobilität von Seniorinnen und Senioren zu einem Anstieg des gesamten Verkehrsaufkommens (vgl. VCÖ 2015). Weitere Veränderungen könnten sich durch die eventuelle Etablierung selbstfahrender Fahrzeuge ergeben – hier fallen zwar psychologische Faktoren vollständig weg, dafür kommen andere technologische Faktoren hinzu, welche die Auswirkungen des Verkehrswegemusters auf das Verkehrsunfallgeschehen verändern können.

Die automatisierte Analyse der Verkehrswegemuster kann auch für andere Anwendungen als die Analyse des Verkehrsunfallrisikos genutzt werden, wie etwa, um herauszufinden, welches Verkehrswegemuster das höchste Verkehrsaufkommen pro Zeiteinheit bewältigen kann.

Verbesserungsmöglichkeiten meiner Analyse, welche im Rahmen zukünftiger Arbeiten jedenfalls noch berücksichtigt werden können, gibt es beispielsweise in Hinblick auf das Modell zur Interpolation des Verkehrsaufkommens. Hier könnten insbesondere auch verkehrsmittelspezifische Messungen berücksichtigt oder Netzwerkanalysen miteinbezogen werden. Meine Analyse differenziert weiters nicht zwischen der Schwere der Unfälle. Auch die Berücksichtigung der dritten Dimension, d. h. des Geländes des jeweiligen Untersuchungsgebiets, zur Klassifizierung der Verkehrswegemuster wäre vorstellbar.

8 Literatur

ALBRECHT J. (2007): Key Concepts and Techniques in GIS. – London.

BACHER J., PÖGE A. UND WENZIG K. (2011³): Clusteranalyse. Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren. – München.

BARTHELEMY M. (2008): From paths to blocks: New measures for street patterns. – In: Environment and Planning B: Planning and Design, 1–16; DOI: 10.1177/0265813515599982

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (BMVIT) (2012): Volkswirtschaftliche Unfallkosten, <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/sicherheit/strassenverkehrsunfaelle/volkswirtschaft.html> (30.12.2016).

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (BMVIT) (2016): Österreich unterwegs 2013-2014. – Wien.

CHALOUPKA-RISSER C., RISSER R. UND ZUZAN W.D. (2011): Verkehrspsychologie. Grundlagen und Anwendungen. – Wien.

CHARREIRE H., WEBER C., CHAIX B., SALZE P., CASEY R., BANOS A., BADARIOTTI D., KESSE-GUYOT, E., HERCBERG S., CHANTAL S. UND OPPERT J. M. (2012): Identifying built environmental patterns using cluster analysis and GIS: Relationships with walking, cycling and body mass index in French adults. – In: International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity 59 (9); DOI: 10.1186/1479-5868-9-59

DIETIKER J. (2009): Wie Straßenraumbilder den Verkehr beeinflussen. – Winterthur.

DING W. UND TONG Z. (2011): An approach for simulating the streets spatial patterns. – In: Build Simul 4, 321 – 333.

FAHRRAD WIEN (2016): Modal Split 2015: Aktive Mobilität auf dem Vormarsch, <https://www.fahrradwien.at/2016/01/28/modal-split-2015-aktive-mobilitaet-auf-dem-vormarsch/> (30.12.2016).

FAZAL S. (2008): GIS Basics. – New Dehli.

FISCHER M. M. UND GETIS A. (2010): Handbook of Applied Spatial Analysis. Software Tools, Methods and Applications. – Berlin.

FISCHER M. M. UND WANG J. (2011): Spatial Data Analysis. Models, Methods and Techniques. – Berlin.

FOTHERINGHAM S. UND ROGERSON P. (1994): Spatial Analysis and GIS. – London.

GETIS A. (1991): Spatial Interaction and Spatial Autocorrelation: A Cross-Product Approach. – In: ANSELIN L. UND REY S. J. (Hrsg.) (2012): Perspectives on Spatial Data Analysis. – Tempe.

GETIS A. (2007): Second-Order Analysis of Point Patterns: The Case of Chicago as a Multi-center Urban Region – In: ANSELIN L. UND REY S. J. (Hrsg.) (2012): Perspectives on Spatial Data Analysis. – Tempe.

- HEINEBERG H. (2014⁴): Stadtgeographie. – Stuttgart.
- INSTITUT FÜR VERKEHRSWESSEN (2010): Grundlagen der Verkehrsplanung. Skriptum. Universität für Bodenkultur.
- KAM B. H. (2002): A disaggregate approach to crash rate analysis. – In: Accident Analysis and Prevention 35, 693 – 709.
- KOCH T. UND DENIKE K. (2009): Crediting his critics' concerns: Remaking John Snow's map of Broad Street cholera, 1854. Social Science & Medicine 69, 1246–1251.
- KUCKARTZ U., RÄDIKER S., EBERT T. UND SCHEHL J. (2013²): Statistik. Eine verständliche Einführung. – Wiesbaden.
- LI, L., LI Z. UND SUI D.Z. (2007): A GIS-based Bayesian approach for analyzing spatial–temporal patterns of intra-city motor vehicle crashes. – In: Journal of Transport Geography 15, 274 – 285.
- LOUF, R. UND BARTHELEMY M. (2014): A typology of street patterns. In: Journal of The Royal Society. – In: Journal of the Royal Society; DOI: 10.1098/rsif.2014.0924
- MAGISTRATSABTEILUNG 18 – STADTENTWICKLUNG UND STADTPLANUNG (2016): Straßenverkehrszählung 2010 - Wien, <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a0279fdf-230e-493d-bd50-3865ad29f825> (10.11.2016).
- MAGISTRATSABTEILUNG 21 - STADTTEILPLANUNG UND FLÄCHENNUTZUNG (2016): Straßengraph Wien, <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/1039ed7e-97fb-435f-b6cc-f6a105ba5e09> (08.06.2016).
- MAGISTRATSABTEILUNG 41 - STADTVERMESSUNG (2016): Bezirksgrenzen - Wien, <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b> (08.09.2016).
- MARKS H. (1957): Subdividing for traffic safety. – In: Traffic Quarterly 11 (3), 308–325.
- MARSHALL S. (2005): Streets & patterns. - Abington.
- MARX E., PFLEGER E., BERGER W., MAURER P., MESCHIK M. UND PICHLER, C. (1996): Verkehrssicherheitshandbuch für die Sanierung von Unfallhäufungsstellen gemäß RVS 1.21 – In: Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen 67, 337ff.
- MOHAJERI N., LONGLEY P. A. UND BATTY M. (2012): City Shape and the Fractality of Street Patterns – In: Quaestiones Geographicae 31 (2), 29 – 37.
- O'SULLIVAN D. UND UNWIN D. J. (2010): Geographic Information Analysis. – Hoboken.
- OPENSHAW S. UND TAYLOR P. (1979): A million or so correlation coefficients: Three experiments on the modifiable areal unit problem in Wringley N, In: Statistical Methodes in the Spatial Sciences. 127-144.
- PRASANNAKUMAR V., VIJITH H., CHARUTHA R. UND GEETHA N.: Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment. – In: Procedia Social and Behavioral Sciences 21, 317–325.

- RIFAAT S. M. UND TAY R. (2009a): Effects of Street Patterns on Injury Risks in Two-Vehicle Crashes. – In: Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 61-67; DOI: 10.3141/2102-08.
- RIFAAT S. M. UND TAY R. (2009b): Effects of Neighborhood Street Patterns on Traffic Collision Frequency. – In: Journal of Transportation Safety & Security 1, 241–253.
- RIFAAT S. M., TAY R. UND DE BARROS A. (2010): Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users. – In: Accident Analysis and Prevention 43, 276-283.
- RIFAAT S. M., TAY R. UND DE BARROS A. (2012a): Effect of Neighbourhood Street Pattern on Motorcycle Crash Severity at Calgary. - In: Proceedings of the 45th Annual Conference of Canadian Transportation Research Forum, 623- 637.
- RIFAAT S. M., TAY R. UND DE BARROS A. (2012b): Street Pattern and Pedestrian Traffic Safety. - In: Journal of Urban Design 17 (3), 337-352.
- RVS 02.02.22 (1995): Verkehrskonfliktuntersuchung. Wien.
- SAMMER G., BERGER W.J., MESCHIK M., RAICH U. und STARK J. (2011): Schriftliche Unterlagen Verkehrsplanung und Mobilität. – Wien.
- SCHENDERA C. (2010): Clusteranalyse mit SPSS. – München.
- SOUTHWORTH M. UND BEN-JOSEPH E. (1995): Street Standards and the Shaping of Suburbia. – In: Journal of the American Planning Association 61 (1), 65 – 81; DOI: 10.1080/01944369508975620.
- SOUTHWORTH M. UND BEN-JOSEPH E. (2003): Streets and the Shaping of Towns and Cities. – Washington DC.
- STADTENTWICKLUNG WIEN (2015): Straßenverkehrszählungen auf Wiener Gemeindestraßen, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/strassen/verkehrszaehlung/index.html> (30.12.2016).
- STATISTIK AUSTRIA (2016a): Statistik der Straßenverkehrsunfälle, Jahresergebnisse 2015. – Wien.
- STATISTIK AUSTRIA (2016b): Straßenverkehrsunfälle – Unfalldatenmanagement (UDM). Erläuterungen zu den Einzeldatensätzen 2015 für externe User. Wien.
- Steenbergen T., Dufays T., Thomas I. und Flahaut B. (2004): Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. – In: International Journal of Geographic Information Science 18 (2), 169 – 181; DOI: 10.1080/13658810310001629619.
- THORNTON L. E., PEARCE J. UND KAVANAGH A. M. (2011): Using Geographic Information Systems (GIS) to assess the role of the built environment in influencing obesity: a glossary. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity 71 (8); DOI: 10.1186/1479-5868-8-71
- VAN GOEVERDEN K., NIELSEN T.S., HARDER H. UND VAN NES R. (2015): Interventions in bicycle infrastructure, lessons from Dutch and Danish cases. – In: Transportation Research Procedia 10, 403 – 410.

VAN TILBURG C. (2011): Traffic Policy and Circulation in Roman Cities. – In: Acta Classica 54, 149-171.

VERKEHRSCLUB ÖSTERREICH (VCÖ) (2016): VCÖ-Factsheet 2015-12 - Gesellschaft im Wandel verändert die Mobilität, <https://www.vcoe.at/news/details/vcoe-factsheet-2015-12-gesellschaft-im-wandel-veraendert-die-mobilitaet> (30.11.2016).

VERKEHRSPLANUNG KÄFER GMBH (2011): Straßenverkehrszählung Wien 2010. Auswertung Gemeindestraßen A + B. Endbericht. – Wien.

WALKER I. (2007): Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender. Accident Analysis and Prevention 39, 417–425.

YU-SHENG L. UND YING-CHIH C. (2000): Neighbourhood Effects on an Individual's Health Using Neighbourhood Measurements Developed by Factor Analysis and Cluster Analysis. Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine 86 (1), 5-18; DOI: 10.1007/s11524-008-9306-7

Anhang I : Python-Skript zur Realisierung räumlicher Bezugsflächen, Aufbereitung der Verkehrswegedaten und Berechnung der Kennzahlen

Inputparameter sind der gewünschte Workspace sowie die manuell aufbereitete Feature Class mit den Verkehrswegen.

Der Output ist - neben den Zwischenergebnissen - eine Tabelle mit den standardisierten Kennzahlen.

```
##### 1. EINRICHTEN DER ARBEITSUMGEBUNG #####

# Benötigte Module importieren
import arcpy
import math
import os
from arcpy import env

# Parameter aufnehmen
WS = arcpy.GetParameterAsText ( 0 )
VerkehrswegeInput = arcpy.GetParameterAsText ( 1 )

# Umgebungseinstellungen setzen
env.overwriteOutput = True
env.workspace = WS

# GDB und FDS einrichten
arcpy.CreateFileGDB_management ( WS , "GDB.gdb" )
arcpy.CreateFeatureDataset_management ( "GDB.gdb" , "FDS" , 3857 )

# VerkehrswegeInput in Web Mercator (Auxiliary Sphere) reprojizieren
arcpy.Project_management ( VerkehrswegeInput ,
"GDB.gdb/FDS/VerkehrswegeInputPJ" , 3857 )

# Workspace in FDS setzen
env.workspace = "GDB.gdb/FDS"

##### 2. AUFBEREITUNG DER DATENGRUNDLAGEN #####

### 2.1 Gebiet in Rasterzellen unterteilen ###

# Berechnet die räumliche Ausdehnung des Verkehrswegenetzwerks
Shape = arcpy.Describe ( "VerkehrswegeInputPJ" ).ShapeFieldName
Verkehrswege = arcpy.SearchCursor ( "VerkehrswegeInputPJ" )
MinX = 999999999999999
MaxX = - 999999999999999
MinY = 999999999999999
MaxY = - 999999999999999
```

```

# Für jeden Knoten des Verkehrswegenetzes prüfen, ob er größer oder
kleiner als das Minimum oder Maximum ist, und ggf. die Ausdehnung
erweitern
for Verkehrsweg in Verkehrswege :
    VerkehrswegGeometrie = Verkehrsweg.getValue ( Shape )
    i = 0
    for Teil in VerkehrswegGeometrie :
        for Punkt in VerkehrswegGeometrie.getPart ( i ) :
            if Punkt.X < MinX :
                MinX = Punkt.X
            if Punkt.Y < MinY :
                MinY = Punkt.Y
            if Punkt.X > MaxX :
                MaxX = Punkt.X
            if Punkt.Y > MaxY :
                MaxY = Punkt.Y
        i += 1

# Raster in berechneter Ausdehnung erstellen
Ursprung = str ( MinX ) + " " + str ( MinY )
Richtung = str ( MinX ) + " " + str ( MaxY )
Ende = str ( MaxX ) + " " + str ( MaxY )
arcpy.CreateFishnet_management ( "Grid1000" , Ursprung , Richtung ,
"1000" , "1000" , "" , "" , Ende )

# Raster in Polygone umwandeln
arcpy.FeatureToPolygon_management ( "Grid1000" , "Grid1000_Poly" )

### 2.2 Verkehrswegedaten aufbereiten ###

# Linien an Kreuzungen teilen
arcpy.FeatureToLine_management ( "VerkehrswegeInputPJ" ,
"VerkehrswegeInputSplit" )

# Getrennte Linien innerhalb von Verkehrswegesegmenten zusammenfügen
arcpy.UnsplitLine_management ( "VerkehrswegeInputSplit" ,
"VerkehrswegeInputUnsplit" )

# Verkehrswegekreuzungen berechnen
arcpy.Intersect_analysis ( "VerkehrswegeInputUnsplit" ,
"VerkehrswegeKreuzungen" , "" , "" , "POINT" )
arcpy.DeleteIdentical_management ( "VerkehrswegeKreuzungen" , "SHAPE" )

# Sackgassen herausrechnen, welche kürzer als 20 Meter sind
# Feature Class "AEPunkte" erzeugen, in welche alle Anfangs- und
Endpunkte von Verkehrswegesegmenten hinzugefügt werden
arcpy.CreateFeatureclass_management ( WS + os.sep + "GDB.gdb/FDS" ,
"AEPunkte" , "POINT" )
VerkehrswegeCursor = arcpy.da.SearchCursor ( "VerkehrswegeInputUnsplit"
, [ "SHAPE@" ] )
AEPunktCursor = arcpy.da.InsertCursor ( "AEPunkte" , [ "SHAPE@XY" ] )
for Segment in VerkehrswegeCursor :
    # Anfangspunkt in "AEPunkte" hinzufügen
    NeuerAPunkt = ( Segment [ 0 ].firstPoint.X , Segment [ 0 ]
.firstPoint.Y )
    AEPunktCursor.insertRow ( [ NeuerAPunkt ] )
    # Endpunkt in "AEPunkte" hinzufügen
    NeuerEPunkt = ( Segment [ 0 ].lastPoint.X , Segment [ 0 ]
.lastPoint.Y )
    AEPunktCursor.insertRow ( [ NeuerEPunkt ] )

```

```

# Identische Einträge in "AEPunkte" bereinigen
arcpy.DeleteIdentical_management ( "AEPunkte" , "SHAPE" )
# Kreuzungen von allen Anfangs- und Endpunkten von Verkehrswegesegmenten
abziehen, sodass nur Endpunkte von Sackgassen übrigbleiben
arcpy.Erase_analysis ( "AEPunkte" , "VerkehrswegeKreuzungen" ,
"Sackgassenpunkte" )
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( "VerkehrswegeInputUnsplit" ,
"VerkehrswegeInputUnsplit_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management (
"VerkehrswegeInputUnsplit_Layer" , "INTERSECT" , "Sackgassenpunkte" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "VerkehrswegeInputUnsplit_Layer" ,
"Sackgassen" )

# Sackgassen mit einer Länge < 20 Meter löschen (Digitalisierungsfehler)
arcpy.Select_analysis ( "Sackgassen" , "Sackgassen_bis20m" ,
"SHAPE_LENGTH < 20" )
arcpy.Erase_analysis ( "VerkehrswegeInputUnsplit" , "Sackgassen_bis20m"
, "Verkehrswege_ohne_kurze_Sackgassen" )

# Verkehrswege und Kreuzungen neu berechnen
arcpy.FeatureToLine_management ( "Verkehrswege_ohne_kurze_Sackgassen" ,
"VerkehrswegeInputSplit" )
arcpy.UnsplitLine_management ( "VerkehrswegeInputSplit" ,
"Verkehrswege_Bereinigt" )
arcpy.Intersect_analysis ( "Verkehrswege_Bereinigt" ,
"VerkehrswegeKreuzungen" , "" , "" , "POINT" )
arcpy.DeleteIdentical_management ( "VerkehrswegeKreuzungen" , "SHAPE" )

# Verkehrswege mit Raster zerschneiden
arcpy.Intersect_analysis ( [ "Grid1000_Poly" , "Verkehrswege_Bereinigt"
] , "VerkehrswegeRaster" )

### 2.3 Blöcke erstellen und aufbereiten ###

# Verkehrswege mit 10 Metern puffern
arcpy.Buffer_analysis ( "Verkehrswege_Bereinigt" , "VerkehrswegeBuffer"
, "10 METERS" )

# Puffer von Grid abziehen, um Blöcke zu erhalten, die an den
Rasterzellen durchtrennt sind
arcpy.Erase_analysis ( "Grid1000_Poly" , "VerkehrswegeBuffer" ,
"BlockRaster" )

# Bloecke innerhalb einer Rasterzelle in Singleparts umwandeln, um
Blöcke zu separieren
arcpy.MultipartToSinglepart_management ( "BlockRaster" ,
"BlockRaster_Singlepart" )

# Nur Blöcke auswählen, die größer als 1000m² sind
arcpy.Select_analysis ( "BlockRaster_Singlepart" ,
"BlockRaster_Singlepart_Min1000" , "Shape_Area >= 1000" )

```



```

# Nur Blöcke auswählen, die vollständig innerhalb einer Rasterzelle
liegen
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( "BlockRaster_Singlepart_Min1000" ,
"BlockRaster_Singlepart_Min1000_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management (
"BlockRaster_Singlepart_Min1000_Layer" , "BOUNDARY_TOUCHES" , "Grid1000"
, "" , "" , "INVERT" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "BlockRaster_Singlepart_Min1000_Layer",
"BlockRaster_drin" )

# Blöcke mit Verzerrungen ab 10 aus der Analyse ausschließen (da es sich
dabei um lange, schmale Restflächen handelt, die mit dem
Verkehrswegemuster wenig zu tun haben)
arcpy.AddField_management ( "BlockRaster_drin", "Verzerr" , "DOUBLE" )
# Cursor, welcher das Feld "Verzerrung" hinzufügt
with arcpy.da.UpdateCursor ( "BlockRaster_drin" , [ "SHAPE@" , "Verzerr"
, "OID@" ] ) as VerzerrungCursor :
    for Block in VerzerrungCursor :
        # Der größte Abstand von Mittelpunkt des Blocks zu einem Vertex
        entspricht dem Umkreisradius. Dieser wird ermittelt
        Zentrum = Block [ 0 ].trueCentroid
        Maximum = 0
        for Linie in Block [ 0 ] :
            for Punkt in Linie :
                Distanz = math.sqrt ( ( Punkt.X - Zentrum.X ) ** 2 + (
                Punkt.Y - Zentrum.Y ) ** 2 )
                if Distanz > Maximum :
                    Maximum = Distanz
        # Die Fläche des Umkreisradius wird mit der Formel Radius ^ 2 *
        PI berechnet. Die Division durch die Blockfläche ergibt die
        Verzerrung
        Block [ 1 ] = Maximum ** 2 * math.pi / Block [ 0 ].area
        VerzerrungCursor.updateRow ( Block )
# Nur Blöcke auswählen, die eine Verzerrung < 10 aufweisen
arcpy.Select_analysis ( "BlockRaster_drin" , "BlockRaster_NichtVerzerzt"
, "Verzerr < 10" )

# Berechnen, wie viele Blöcke jede Rasterzelle beinhaltet
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_Poly" ,
"BlockRaster_NichtVerzerzt" , "grid1000_Bloekedrin_info" )

# Rasterzellen, die mindestens 5 Blöcke vollständig beinhalten,
exportieren
arcpy.Select_analysis ( "grid1000_Bloekedrin_info" ,
"grid1000_mind5Bloekedrin" , "Join_Count >= 5" )

# Alle Blöcke exportieren, die vollständig in einer Rasterzelle mit
mind. 5 ganzen Blöcken liegen, und selbst vollständig darinliegen
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( "BlockRaster_NichtVerzerzt" ,
"BlockRaster_drin_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "BlockRaster_drin_Layer" ,
"WITHIN" , "grid1000_mind5Bloekedrin" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "BlockRaster_drin_Layer" ,
"BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloekedrin" )

```

```
### 2.4 Verkehrswegedaten weiter aufbereiten, um sie auf die
verbleibenden Rasterzellen mit mindestens 5 ganzen Blöcken zu
beschränken ###
```

```
# Nur Verkehrswege auswählen, welche in Rasterzellen mit mind. 5 ganzen
Blöcken liegen
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( "VerkehrswegeRaster" ,
"VerkehrswegeRaster_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "VerkehrswegeRaster_Layer" ,
"WITHIN" , "grid1000_mind5Bloeckedrin" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "VerkehrswegeRaster_Layer" ,
"VerkehrswegeRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" )

# Nur Verkehrswegesegmente auswählen, welche vollständig innerhalb von
Rasterzellen mit mind. 5 ganzen Blöcken liegen
arcpy.MakeFeatureLayer_management (
"VerkehrswegeRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" ,
"VerkehrswegeRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management (
"VerkehrswegeRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" ,
"BOUNDARY_TOUCHES" , "grid1000_mind5Bloeckedrin" , "" , "" , "INVERT" )
arcpy.CopyFeatures_management (
"VerkehrswegeRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" ,
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" )
```

3. BERECHNUNG DER KENNZAHLEN FÜR BLÖCKE

```
### 3.1 Mittelwert und Standardabweichung der Blockflächen für jede
Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig
darinliegen ###
```

```
# Field Mapping zu Blockflächen erstellen
InputFC = "BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der Blockflächen pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Shape_Area" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.name = "FlaecheDS"
fmDS_name.aliasName = "FlaecheDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )
# Standardabweichung der Blockflächen pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Shape_Area" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.name = "FlaecheSA"
fmSA_name.aliasName = "FlaecheSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
```

```

# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen" , "" , "" , FMS )

### 3.2 Mittelwert und Standardabweichung der Verzerrung für jede
Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig
darinliegen ###

# Berechnung der Verzerrung mittels Update-Cursor
arcpy.AddField_management (
"BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloekedrin" , "Verzerrung" ,
"DOUBLE" )

with arcpy.da.UpdateCursor (
"BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloekedrin" , [ "SHAPE@" ,
"Verzerrung" ] ) as VerzerrungCursor :
    for Block in VerzerrungCursor :
        # Der größte Abstand von Mittelpunkt des Blocks zu einem Vertex
        # entspricht dem Umkreisradius. Dieser wird hier ermittelt:
        Zentrum = Block [ 0 ].trueCentroid
        Maximum = 0
        for Linie in Block [ 0 ] :
            for Punkt in Linie:
                Distanz = math.sqrt ( ( Punkt.X - Zentrum.X ) ** 2 + (
                Punkt.Y - Zentrum.Y ) ** 2 )
                if Distanz > Maximum :
                    Maximum = Distanz
        # Die Fläche des Umkreisradius wird mit der Formel Radius ^ 2 *
        # PI berechnet. Die Division durch die Blockfläche ergibt die
        # Verzerrung
        Block [ 1 ] = Maximum ** 2 * math.pi / Block [ 0 ].area
        VerzerrungCursor.updateRow ( Block )

# Field Mapping zu Verzerrungen erstellen
InputFC = "BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloekedrin"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der Verzerrungen pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Verzerrung" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.name = "VerzerrungDS"
fmDS_name.aliasName = "VerzerrungDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )
# Standardabweichung der Verzerrungen pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Verzerrung" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.name = "VerzerrungSA"
fmSA_name.aliasName = "VerzerrungSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Verzerrung" , "" , "" , FMS )

```

3.3 Zentroidabstand für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen

```
# NearTabelle für Blockzentroide erstellen, die für jeden Blockzentroid
den Abstand zum nächstgelegenen Blockzentroid ermittelt
arcpy.FeatureToPoint_management (
"BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloectedrin" , "BlockZentroide" ,
"CENTROID")
arcpy.GenerateNearTable_analysis ( "BlockZentroide" , "BlockZentroide" ,
WS + os.sep + "BlockZentroide_NearTabelle" )
arcpy.JoinField_management ( "BlockZentroide" , "OBJECTID" , WS + os.sep
+ "BlockZentroide_NearTabelle" , "Rowid" , "NEAR_DIST" )

# Field Mapping zu Zentroidabständen erstellen
InputFC = "BlockZentroide"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der Zentroidabstände pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "NEAR_DIST" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.name = "ZentAbsDS"
fmDS_name.aliasName = "ZentAbsDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )
# Standardabweichung der Zentroidabstände pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "NEAR_DIST" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.name = "ZentAbsSA"
fmSA_name.aliasName = "ZentAbsSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloectedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloectedrin_Kennzahlen_Zentroidabstand" , "" , "" , FMS )
```

3.4 Mittelwert und Standardabweichung der begrenzenden Verkehrswegesegmente für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen

```
# Puffer erstellen, um alle Verkehrsflächen im Umkreis von 30 Meter um
jeden Block zu erhalten
arcpy.Buffer_analysis ( "BlockRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloectedrin"
, "BlockBuffer" , "30 METERS" )

# Nur Verkehrswege auswählen, welche mindestens 30m lang sind, um sehr
kurze Abschnitte auszuschließen
arcpy.Select_analysis ( "VerkehrswegeRaster" ,
"VerkehrswegeRasterMin30m" , "SHAPE_LENGTH >= 30" )

# Spatial Join durchführen, um Anzahl der Verkehrswegesegmente zu
bestimmen, die vollständig in Pufferdistanz liegen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "BlockBuffer" , "VerkehrswegeRasterMin30m"
, "AnzahlBegrenzendeVerkehrswege" , "" , "" , "" , "CONTAINS_CLEMENTINI"
)
```

```

arcpy.FeatureToPoint_management ( "AnzahlBegrenzendeVerkehrswege" ,
"BlockZentroide" , "CENTROID" )

# Field Mapping zu begrenzenden Verkehrswegsegmenten erstellen
InputFC = "BlockZentroide"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der Anzahl an begrenzenden Verkehrswegsegmenten pro
Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Join_Count" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "BegSegDS"
fmDS_name.aliasName = "BegSegDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )

# Standardabweichung der Anzahl an begrenzenden Verkehrswegsegmenten pro
Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Join_Count" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "BegSegSA"
fmSA_name.aliasName = "BegSegSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloectedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloectedrin_Kennzahlen_BegrenzendeSegmente" , "" , "" ,
FMS )

```

4. BERECHNUNG DER KENNZAHLEN FÜR VERKEHRSWEGE

4.1 Mittelwert und Standardabweichung der kleinsten Schnittwinkel von Verkehrswegsegmenten in einer Kreuzung für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen

```

# 5-Meter-Kreis um jede Kreuzung ziehen und diesen mit den Verkehrswegen
verschneiden, um Referenzpunkte zu erhalten, welche in Verlaufsrichtung
des Verkehrswegs 5 Meter von der Kreuzung entfernt liegen
arcpy.Buffer_analysis ( "VerkehrswegeKreuzungen" ,
"VerkehrswegeKreuzungen_Buff5" , "5 METERS" )
arcpy.PolygonToLine_management ( "VerkehrswegeKreuzungen_Buff5" ,
"VerkehrswegeKreuzungen_Buff5_Line" )
arcpy.Intersect_analysis ( [ "VerkehrswegeKreuzungen_Buff5_Line" ,
"VerkehrswegeRaster" ] ,
"VerkehrswegeKreuzungen_5_Meter_entlang_Verkehrswege" , "" , "" ,
"POINT" )
arcpy.MultipartToSinglepart_management (
"VerkehrswegeKreuzungen_5_Meter_entlang_Verkehrswege" ,
"VerkehrswegeKreuzungen_5_Meter_entlang_Verkehrswege_Singlepart" )

```

```

# PunktDistanz-Tabelle erstellen, welcher neben der (uninteressanten)
Distanz auch eine Information über den Winkel zwischen Kreuzung und
allen Referenzpunkten dieser Kreuzung liefert
arcpy.GenerateNearTable_analysis ( "VerkehrswegeKreuzungen" ,
"VerkehrswegeKreuzungen_5_Meter_entlang_Verkehrswege_Singlepart" , WS +
os.sep + "PunktDistanz" , "5.1 METERS" , "" , "ANGLE" , "ALL" )
arcpy.AddField_management ( WS + os.sep + "PunktDistanz" , "WINKEL_MIN"
, "DOUBLE" )

# Berechnet die höchste Kreuzungs-ID
MaxKreuzungsID = 0
WinkelCursor = arcpy.da.UpdateCursor ( WS + os.sep + "PunktDistanz", [
"IN_FID" ] )
for Winkel in WinkelCursor :
    if Winkel [ 0 ] > MaxKreuzungsID :
        MaxKreuzungsID = Winkel [ 0 ]

# Erstellt Array aus Arrays, deren Anzahl der höchsten Kreuzungs-ID
entspricht
WinkelArray = []
for i in range ( 0, MaxKreuzungsID + 1 ) :
    WinkelArrayArray = []
    WinkelArray.append ( WinkelArrayArray )

# Fügt jeden Winkel an den der Kreuzung entsprechenden Array im
WinkelArray hinzu. Das Ergebnis ist ein Array aus Arrays, in der
Reihenfolge der Kreuzungs-OIDS, die jeweils aus den zugeordneten Winkeln
(falls vorhanden) bestehen
WinkelCursor = arcpy.da.UpdateCursor( WS + os.sep + "PunktDistanz", [
"IN_FID" , "NEAR_ANGLE" ] )
for Winkel in WinkelCursor :
    WinkelArray[ Winkel [ 0 ] ].append( Winkel [ 1 ] )

# Berechnet für jede Kreuzung im WinkelArray den kleinsten Schnittwinkel
i = 0
for Kreuzung in WinkelArray :
    # Falls Felder vorhanden sind
    if len ( Kreuzung ) > 0 :
        # Berechne die minimale Differenz zwischen zwei Winkeln
        MinWinkel = 180
        for Winkel in Kreuzung :
            for AndererWinkel in Kreuzung :
                Winkelbetrag = abs ( Winkel - AndererWinkel )
                if ( Winkelbetrag > 180 ) :
                    Winkelbetrag = 360 - abs ( Winkelbetrag )
                if ( Winkelbetrag < MinWinkel ) and ( Winkelbetrag > 0.5
                ) :
                    MinWinkel = Winkelbetrag
            Kreuzung [ 0 ] = MinWinkel
        i += 1

# Mit einem Update-Cursor werden die Inhalte des erstellten Arrays in
die PunktDistanz-Tabelle eingefügt
WinkelCursor = arcpy.da.UpdateCursor ( WS + os.sep + "PunktDistanz" , [
"IN_FID" , "WINKEL_MIN" ] )
for Winkel in WinkelCursor :
    KreuzungsArray = WinkelArray [ Winkel [ 0 ] ]
    Winkel [ 1 ] = KreuzungsArray [ 0 ]
    WinkelCursor.updateRow ( Winkel )

```

```

# Die Informationen aus der PunktDistanz-Tabelle werden auf die
jeweiligen Kreuzungen übertragen
arcpy.JoinField_management ( "VerkehrswegeKreuzungen" , "OBJECTID" , WS
+ os.sep + "PunktDistanz" , "IN_FID" , [ "WINKEL_MIN" ] )

# Field Mapping zu kleinsten Schnittwinkeln von Verkehrswegesegmenten
erstellen
InputFC = "VerkehrswegeKreuzungen"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der kleinsten Schnittwinkel pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "WINKEL_MIN" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "WinkelMinDS"
fmDS_name.aliasName = "WinkelMinDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )

# Standardabweichung der kleinsten Schnittwinkel pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "WINKEL_MIN" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "WinkelMinSA"
fmSA_name.aliasName = "WinkelMinSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloectedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloectedrin_Kennzahlen_MinSchnittwinkel" , "" , "" , FMS
)

```

4.2 Mittelwert und Standardabweichung der Länge einzelner Verkehrswegesegmente für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen

```

# Field Mapping für Länge der Verkehrswegesegmente erstellen
InputFC = "VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloectedrin"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der Länge der Verkehrswegesegmente pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Shape_Length" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "SegmentlaengeDS"
fmDS_name.aliasName = "SegmentlaengeDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )

```

```

# Standardabweichung der Länge der Verkehrswegsegmente pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Shape_Length" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "SegmentlaengeSA"
fmSA_name.aliasName = "SegmentlaengeSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Segmentlaenge" , "" , "" , FMS )

```

4.3 Mittelwert und Standardabweichung des Kreuzungsabstands für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen

```

# Für jede Kreuzung die Distanz zur nächstgelegenen Kreuzung berechnen
arcpy.Near_analysis ( "VerkehrswegeKreuzungen" ,
"VerkehrswegeKreuzungen" )

# Field Mapping zu zusammentreffenden Verkehrswegsegmenten erstellen
InputFC = "VerkehrswegeKreuzungen"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert des Kreuzungsabstands pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "NEAR_DIST" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "KreuzungsabDS"
fmDS_name.aliasName = "KreuzungsabDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )
# Standardabweichung des Kreuzungsabstands pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "NEAR_DIST" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "KreuzungsabSA"
fmSA_name.aliasName = "KreuzungsabSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Kreuzungsabstand" , "" , "" , FMS
)

```



```
### 4.4 Verkehrswegedichte für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen
Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen ###
```

```
# Field Mapping zur Verkehrswegedichte erstellen
InputFC = "VerkehrswegRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Verkehrswegedichte pro Rasterzelle
fmSum = arcpy.FieldMap ()
fmSum.addInputField ( InputFC , "SHAPE_LENGTH" )
fmSum.mergeRule = "Sum"
fmSum_name = fmSum.outputField
fmSum_name.name = "VerkwDichte"
fmSum_name.aliasName = "VerkwDichte"
fmSum.outputField = fmSum_name
FMS.addFieldMap ( fmSum )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloeckedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloeckedrin_Kennzahlen_Verkehrswegedichte" , "" , "" ,
FMS )
```

```
### 4.5 Kreuzungsdichte für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken
berechnen, die selbst vollständig darinliegen ###
```

```
# Spatial Join der Rasterzellen mit den Kreuzungen, und deren jeweilige
Anzahl als Feld hinzufügen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloeckedrin",
"VerkehrswegKreuzungen" ,
"grid1000_mind5Bloeckedrin_Kennzahlen_Kreuzungsdichte" )
arcpy.AddField_management (
"grid1000_mind5Bloeckedrin_Kennzahlen_Kreuzungsdichte" ,
"Kreuzungsdichte" , "DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management (
"grid1000_mind5Bloeckedrin_Kennzahlen_Kreuzungsdichte" ,
"Kreuzungsdichte", "!JOIN_COUNT_1!" , "PYTHON_9.3" )
```

```
### 4.6 Mittelwert und Standardabweichung der Anzahl der an einer
Kreuzung zusammentreffenden Verkehrswegesegmente für jede Rasterzelle
mit mind. 5 ganzen Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen
###
```

```
# Spatial Join durchführen, um Anzahl der Verkehrswegesegmente zu
bestimmen, die an bestimmtem Kreuzungspunkt enden
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "VerkehrswegKreuzungen" ,
"VerkehrswegRaster_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" ,
"AnzahlVerkehrswegInKreuzung" )

# Field Mapping zu zusammentreffenden Verkehrswegsegmenten erstellen
InputFC = "AnzahlVerkehrswegInKreuzung"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
```

```

# Mittelwert der Anzahl an zusammentreffenden Verkehrswegsegmenten pro
Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Join_Count" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "ZusSegDS"
fmDS_name.aliasName = "ZusSegDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap ( fmDS )
# Standardabweichung der Anzahl an zusammentreffenden
Verkehrswegsegmenten pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Join_Count" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "ZusSegSA"
fmSA_name.aliasName = "ZusSegSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_ZusammentreffendeSegmente" , "",
"", FMS )

### 4.7 T-Verhältnis für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen Blöcken
berechnen, die selbst vollständig darinliegen ###

# Nur Kreuzungen auswählen, in welche drei Verkehrswegsegmente münden
("T-Kreuzungen")
arcpy.Select_analysis ( "AnzahlVerkehrswegeInKreuzung" , "TKreuzungen" ,
"Join_Count = 3" )

# Spatial Join des Grids mit Anzahl der T-Kreuzungen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloekedrin" , "TKreuzungen"
, "TKreuzungAnzahl" )
arcpy.AddField_management ( "TKreuzungAnzahl" , "TKreuzungen" , "DOUBLE"
)
arcpy.CalculateField_management ( "TKreuzungAnzahl" , "TKreuzungen" ,
"!JOIN_COUNT_1!" , "PYTHON_9.3" )

# Spatial Join der Anzahl an T-Kreuzungen mit Kreuzungsdichte
durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis (
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Kreuzungsdichte" ,
"TKreuzungAnzahl" ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_TVerhaeltnis" , "" , "" , "" ,
"ARE_IDENTICAL_TO" )
arcpy.AddField_management (
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_TVerhaeltnis" , "TVerhaeltnis" ,
"DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management (
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_TVerhaeltnis" , "TVerhaeltnis" ,
"!TKreuzungen! / !Kreuzungsdichte!" , "PYTHON_9.3" )

```

```
### 4.8 Sackgassenverhältnis für jede Rasterzelle mit mind. 5 ganzen
Blöcken berechnen, die selbst vollständig darinliegen ###
```

```
# Feature Class "AEPunkte" erzeugen, in welche alle Anfangs- und
Enpunkte von Verkehrswegesegmenten hinzugefügt werden
arcpy.CreateFeatureclass_management ( WS + os.sep + "GDB.gdb/FDS" ,
"AEPunkte" , "POINT" )
VerkehrswegeCursor = arcpy.da.SearchCursor (
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" , [ "SHAPE@" ] )
AEPunktCursor = arcpy.da.InsertCursor( "AEPunkte" , [ "SHAPE@XY" ] )
for Segment in VerkehrswegeCursor :
    # Anfangspunkt in "AEPunkte" hinzufügen
    NeuerAPunkt = ( Segment [ 0 ].firstPoint.X , Segment [ 0 ]
.firstPoint.Y )
    AEPunktCursor.insertRow ( [ NeuerAPunkt ] )
    # Endpunkt in "AEPunkte" hinzufügen
    NeuerEPunkt = ( Segment [ 0 ].lastPoint.X , Segment [ 0 ]
.lastPoint.Y )
    AEPunktCursor.insertRow ( [ NeuerEPunkt ] )

# Identische Einträge in "AEPunkte" bereinigen
arcpy.DeleteIdentical_management ( "AEPunkte" , "SHAPE" )

# Spatial Join der Rasterzellen mit den Verkehrswegesegmenten, und deren
jeweilige Anzahl als Feld hinzufügen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloeckedrin",
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" , "Segmentanzahl"
)
arcpy.AddField_management ( "Segmentanzahl" , "Segmentanzahl" , "DOUBLE"
)
arcpy.CalculateField_management ( "Segmentanzahl" , "Segmentanzahl",
"!JOIN_COUNT_1!" , "PYTHON_9.3" )

# Kreuzungen von allen Anfangs- und Endpunkten von Verkehrswegesegmenten
abziehen, sodass nur Endpunkte von Sackgassen übrigbleiben
arcpy.Erase_analysis ( "AEPunkte" , "VerkehrswegeKreuzungen" ,
"Sackgassenpunkte" )
arcpy.MakeFeatureLayer_management (
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin" ,
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management (
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" ,
"INTERSECT" , "Sackgassenpunkte" )
arcpy.CopyFeatures_management (
"VerkehrswegeRaster_drin_in_grid1000_mind5Bloeckedrin_Layer" ,
"Sackgassen" )

# Spatial Join der Rasterzellen mit den Sackgassen, und deren jeweilige
Anzahl als Feld hinzufügen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "grid1000_mind5Bloeckedrin", "Sackgassen" ,
"SackgassenAnzahl" )
arcpy.AddField_management ( "SackgassenAnzahl" , "SackgassenAnzahl" ,
"DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management ( "SackgassenAnzahl" ,
"SackgassenAnzahl", "!JOIN_COUNT_1!" , "PYTHON_9.3" )
```

```

# Blockanzahl als explizites Feld hinzufügen
arcpy.AddField_management (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen" , "Blockanzahl" ,
    "DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen" , "Blockanzahl",
    "!JOIN_COUNT!" , "PYTHON_9.3" )

# Spatial Join der Anzahl an Segmenten mit Sackgassen durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen" ,
    "SackgassenAnzahl" ,
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Sackgassenverhaeltnis" , "" , "" ,
    "" , "ARE_IDENTICAL_TO" )

# Sackgassenverhältnis berechnen
arcpy.AddField_management (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Sackgassenverhaeltnis" ,
    "SackgVerh" , "DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Sackgassenverhaeltnis" ,
    "SackgVerh" , "!SackgassenAnzahl! / !Blockanzahl!" , "PYTHON_9.3" )

# Ersetze alle Einträge mit Wert <Null> durch Wert 0
SackgassenCursor = arcpy.da.UpdateCursor (
    "grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Sackgassenverhaeltnis" , [
    "SackgVerh" ] )
for Feld in SackgassenCursor :
    if Feld [ 0 ] == None :
        Feld [ 0 ] = 0
        SackgassenCursor.updateRow ( Feld )

##### 5. Aufbereiten der Kennzahlen in einer gemeinsamen Tabelle #####

### 5.1 Zusammenfügen der Kennzahlen ###

# Erstellen einer neuen Tabelle und Generierung von Blank-Einträgen
arcpy.CreateTable_management ( WS , "Kennzahlen" )
arcpy.AddField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen" , "ID" , "SHORT"
)
InsCursor = arcpy.InsertCursor ( WS + os.sep + "Kennzahlen" , [ "ID" ] )
AnzahlRasterzellen = int ( arcpy.GetCount_management (
    "grid1000_mind5Bloekedrin" ).getOutput ( 0 ) )
for i in range( 0 , AnzahlRasterzellen ) :
    Rasterzelle = InsCursor.newRow ()
    Rasterzelle.setValue ( "ID" , i + 1 )
    InsCursor.insertRow ( Rasterzelle )

```

```

# Hinzufügen der Kennzahlen in die Tabelle
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen", "OBJECTID", [
"FlaecheDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Blockflaechen", "OBJECTID", [
"FlaecheSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Verzerrung", "OBJECTID", [
"VerzerrungDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Verzerrung", "OBJECTID", [
"VerzerrungSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Zentroidabstand", "OBJECTID", [
"ZentAbsDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Zentroidabstand", "OBJECTID", [
"ZentAbsSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_BegrenzendeSegmente", "OBJECTID", [
"BegSegDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_BegrenzendeSegmente", "OBJECTID", [
"BegSegSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_MinSchnittwinkel", "OBJECTID", [
"WinkelMinDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_MinSchnittwinkel", "OBJECTID", [
"WinkelMinSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Segmentlaenge", "OBJECTID", [
"SegmentlaengeDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Segmentlaenge", "OBJECTID", [
"SegmentlaengeSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Kreuzungsabstand", "OBJECTID", [
"KreuzungsabDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Kreuzungsabstand", "OBJECTID", [
"KreuzungsabSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Verkehrswegedichte", "OBJECTID", [
"VerkwDichte" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Kreuzungsdichte", "OBJECTID", [
"Kreuzungsdichte" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_ZusammentreffendeSegmente",
"OBJECTID", [ "ZusSegDS" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_ZusammentreffendeSegmente",
"OBJECTID", [ "ZusSegSA" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_TVerhaeltnis", "OBJECTID", [
"TVerhaeltnis" ] )
arcpy.JoinField_management ( WS + os.sep + "Kennzahlen", "ID",
"grid1000_mind5Bloekedrin_Kennzahlen_Sackgassenverhaeltnis",
"OBJECTID", [ "SackgVerh" ] )

```

5.2 Standardisierung der Kennzahlen

```
# Erstellung von Arrays für Minima und Maxima
Maxima = []
Minima = []
for i in range ( 0 , 20 ) :
    Minima.append ( 9999999 )
    Maxima.append ( -9999999 )

# Befüllen der Arrays mit aktuellen Minima und Maxima
with arcpy.da.UpdateCursor ( WS + os.sep + "Kennzahlen" , [ "FlaecheDS"
, "FlaecheSA" , "VerzerrungDS" , "VerzerrungSA" , "ZentAbsDS" ,
"ZentAbsSA" , "BegSegDS" , "BegSegSA" , "WinkelMinDS" , "WinkelMinSA" ,
"SegmentlaengeDS" , "SegmentlaengeSA" , "KreuzungsabDS" ,
"KreuzungsabSA" , "VerkwDichte" , "Kreuzungsdichte" , "ZusSegDS" ,
"ZusSegSA" , "TVerhaeltnis" , "SackgVerh" ] ) as StandardisierungsCursor
:
    for Rasterzelle in StandardisierungsCursor :
        for i in range ( 0 , 20 ) :
            if Rasterzelle [ i ] > Maxima [ i ] :
                Maxima [ i ] = Rasterzelle [ i ]
            if Rasterzelle [ i ] < Minima [ i ] :
                Minima [ i ] = Rasterzelle [ i ]
# Dividieren aller Kennzahlenwerte durch die Spannweite der jeweiligen
Kennzahl
with arcpy.da.UpdateCursor ( WS + os.sep + "Kennzahlen" , [ "FlaecheDS"
, "FlaecheSA" , "VerzerrungDS" , "VerzerrungSA" , "ZentAbsDS" ,
"ZentAbsSA" , "BegSegDS" , "BegSegSA" , "WinkelMinDS" , "WinkelMinSA" ,
"SegmentlaengeDS" , "SegmentlaengeSA" , "KreuzungsabDS" ,
"KreuzungsabSA" , "VerkwDichte" , "Kreuzungsdichte" , "ZusSegDS" ,
"ZusSegSA" , "TVerhaeltnis" , "SackgVerh" ] ) as StandardisierungsCursor
:
    for Rasterzelle in StandardisierungsCursor :
        for i in range ( 0 , 20 ) :
            Rasterzelle [ i ] = ( Rasterzelle [ i ] - Minima [ i ] ) / (
                Maxima [ i ] - Minima [ i ] )
        StandardisierungsCursor.updateRow ( Rasterzelle )
```

Anhang II : Python-Skript zur räumlichen Aggregation des Verkehrsunfallgeschehens, der Datenaufbereitung und Interpolation des Verkehrsunfallgeschehens sowie der Berechnung des Verkehrsunfallrisikos

Inputparameter sind der gewünschte Workspace, die räumlichen Bezugsflächen (Raster), die originale Feature Class mit den Verkehrswegen, welche ein Hierarchieattribut enthält, die aufbereitete Feature Class mit den Verkehrswegen, die Feature Class mit den Messstationen und den jeweiligen Messwerten des Verkehrsaufkommens, die Feature Class mit den Unfällen sowie der numerische Weglängenanteil des jeweiligen Verkehrsmittels.

Der Output ist - neben den Zwischenergebnissen – eine Feature Class der in der Untersuchung berücksichtigten Rasterzellen mit einem Attribut des jeweiligen durchschnittlichen Verkehrsunfallrisikos der darin liegenden Verkehrswegesegmente.

```
##### 1. EINRICHTEN DER ARBEITSUMGEBUNG #####

# Benötigte Module importieren
import arcpy
import math
from arcpy import env

# Parameter aufnehmen
WS = arcpy.GetParameterAsText ( 0 )
Grid = arcpy.GetParameterAsText ( 1 )
VerkehrswegeInput = arcpy.GetParameterAsText ( 2 )
VerkehrswegeKlass = arcpy.GetParameterAsText ( 3 )
Messstellen = arcpy.GetParameterAsText ( 4 )
Unfaelle = arcpy.GetParameterAsText ( 5 )
Weglaengenanteil = arcpy.GetParameterAsText ( 6 )

# Umgebungseinstellungen setzen
env.overwriteOutput = True
env.workspace = WS

# GDB und FDS einrichten
arcpy.CreateFileGDB_management ( WS , "GDB.gdb" )
arcpy.CreateFeatureDataset_management ( "GDB.gdb" , "FDS" , 3857 )

# Input-FCs in Web Mercator (Auxiliary Sphere) reprojizieren
arcpy.Project_management ( VerkehrswegeInput ,
"GDB.gdb/FDS/VerkehrswegePJ" , 3857 )
arcpy.Project_management ( Unfaelle , "GDB.gdb/FDS/UnfaellePJ" , 3857 )

# Workspace in FDS setzen
env.workspace = "GDB.gdb/FDS"
```

2. INTERPOLATION DES VERKEHRSAUFKOMMENS

2.1 Aufteilung des Verkehrswegenetzes in verschiedene Hierarchien

```
# Auswahl von Landes- und Bundesstraßen aus Rohdaten
arcpy.Select_analysis ( "VerkehrswegePJ" , "Verkehrswege_L" , "
EDGECATEGORY = 'L' " )
arcpy.Select_analysis ( "VerkehrswegePJ" , "Verkehrswege_B" , "
EDGECATEGORY = 'B' " )

# Bundesstraßen aus Verkehrswegenetz, welches für Klassifizierung
verwendet wurde, auswählen
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( VerkehrswegeKlass ,
"VerkehrswegeKlass_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "VerkehrswegeKlass_Layer" ,
"SHARE_A_LINE_SEGMENT_WITH" , "Verkehrswege_B" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "VerkehrswegeKlass_Layer" ,
"VerkehrswegeKl_B" )

# Landesstraßen aus Verkehrswegenetz, welches für Klassifizierung
verwendet wurde, auswählen
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( VerkehrswegeKlass ,
"VerkehrswegeKlass_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "VerkehrswegeKlass_Layer" ,
"SHARE_A_LINE_SEGMENT_WITH" , "Verkehrswege_L" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "VerkehrswegeKlass_Layer" ,
"VerkehrswegeKl_L" )

# Bundes- und Landesstraßen vom Verkehrswegenetz abziehen, um
Gemeindestraßen zu erhalten
arcpy.Erase_analysis ( VerkehrswegeKlass, "VerkehrswegeKl_B" ,
"VerkehrswegeKl_ohne_B" )
arcpy.Erase_analysis ( "VerkehrswegeKl_ohne_B", "VerkehrswegeKl_L" ,
"VerkehrswegeKl_G" )
```

2.2 ZUORDNUNG DER MESSSTELLEN ZU DEN VERKEHRSWEGEHIERARCHIEN

```
# Zuordnung der Messstellen zu den einzelnen Verkehrswegeklassen
arcpy.Buffer_analysis ( "VerkehrswegeKl_B" , "VerkehrswegeKl_B_Buf" ,
"10 METERS" )
arcpy.Buffer_analysis ( "VerkehrswegeKl_L" , "VerkehrswegeKl_L_Buf" ,
"10 METERS" )
# Messstellen für Bundesstraßen extrahieren
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( Messstellen , "Messstellen_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "Messstellen_Layer" , "WITHIN"
, "VerkehrswegeKl_B_Buf" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "Messstellen_Layer" , "Messstellen_B" )
# Messstellen für Landesstraßen extrahieren
arcpy.Erase_analysis ( Messstellen , "Messstellen_B" ,
"Messstellen_ohneB" )
arcpy.MakeFeatureLayer_management ( "Messstellen_ohneB" ,
"Messstellen_ohneB_Layer" )
arcpy.SelectLayerByLocation_management ( "Messstellen_ohneB_Layer" ,
"WITHIN" , "VerkehrswegeKl_L_Buf" )
arcpy.CopyFeatures_management ( "Messstellen_ohneB_Layer" ,
"Messstellen_L" )
```



```

# Restliche Messstellen extrahieren
arcpy.Erase_analysis ( "Messstellen_ohneB" , "Messstellen_L" ,
"Messstellen_G" )

### 2.3 INTERPOLATION DES VERKEHRSAUFKOMMENS ###

# Feld "Verkehrsaufkommen" hinzufügen
arcpy.AddField_management ( VerkehrswegeKlass, "Verkehrsaufkommen" ,
"DOUBLE" )

# Verkehrsaufkommen für Bundesstraßen berechnen
with arcpy.da.UpdateCursor ( "VerkehrswegeKl_B" , [ "SHAPE@" ,
"Verkehrsaufkommen" ] ) as VerkehrsaufkommenCursor :
    for Segment in VerkehrsaufkommenCursor :
        Mittelpunkt = Segment [ 0 ].trueCentroid
        Summe = 0
        GewichtSumme = 0
        # Iteriert durch alle Messstellen der Straßenklasse, und
        # gewichtet das dortige Verkehrsaufkommen mit dem Abstand
        with arcpy.da.SearchCursor ( "Messstellen_B" , [ "SHAPE@X" ,
"SHAPE@Y" , "R1JDTVGES" , "R2JDTVGES" ] ) as MessstellenCursor :
            for Messstelle in MessstellenCursor :
                Distanz = math.sqrt ( ( Mittelpunkt.X - Messstelle [ 0 ]
) ** 2 + ( Mittelpunkt.Y - Messstelle [ 1 ] ) ** 2 )
                # Eine Gewichtung mit dem Quadrat erhöht den Einfluss
                # nahegelegener Messstellen deutlich
                Gewicht = 1 / ( ( Distanz / 1000 ) ** 2 )
                # Verkehrsaufkommen als Durchschnitt beider Fahrt-
                # richtungen berechnen, falls in beiden Fällen Werte
                # vorhanden sind
                if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] > 100 :
                    Summe += ( Messstelle [ 2 ] + Messstelle [ 3 ] ) / 2
                    * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
                if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] <= 100 :
                    Summe += Messstelle [ 2 ] * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
                if Messstelle [ 3 ] > 100 and Messstelle [ 2 ] <= 100 :
                    Summe += Messstelle [ 3 ] * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
            Segment [ 1 ] = Summe / GewichtSumme
            VerkehrsaufkommenCursor.updateRow ( Segment )

# Verkehrsaufkommen für Landesstraßen berechnen
with arcpy.da.UpdateCursor ( "VerkehrswegeKl_L" , [ "SHAPE@" ,
"Verkehrsaufkommen" ] ) as VerkehrsaufkommenCursor :
    for Segment in VerkehrsaufkommenCursor :
        Mittelpunkt = Segment [ 0 ].trueCentroid
        Summe = 0
        GewichtSumme = 0

```

```

# Iteriert durch alle Messstellen der Straßenklasse, und
gewichtet das dortige Verkehrsaufkommen mit dem Abstand
with arcpy.da.SearchCursor ( "Messstellen_L" , [ "SHAPE@X" ,
"SHAPE@Y" , "R1JDTVGES" , "R2JDTVGES" ] ) as MessstellenCursor :
    for Messstelle in MessstellenCursor :
        Distanz = math.sqrt ( ( Mittelpunkt.X - Messstelle [ 0 ]
) ** 2 + ( Mittelpunkt.Y - Messstelle [ 1 ] ) ** 2 )
        # Eine Gewichtung mit dem Quadrat erhöht den Einfluss
nahegelegener Messstellen deutlich
        Gewicht = 1 / ( ( Distanz / 1000 ) ** 2 )
        # Verkehrsaufkommen als Durchschnitt beider
Fahrtrichtungen berechnen, falls in beiden Fällen
Werte vorhanden sind
        if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] > 100 :
            Summe += ( Messstelle [ 2 ] + Messstelle [ 3 ] ) / 2
            * Gewicht
            GewichtSumme += Gewicht
        if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] <= 100 :
            Summe += Messstelle [ 2 ] * Gewicht
            GewichtSumme += Gewicht
        if Messstelle [ 3 ] > 100 and Messstelle [ 2 ] <= 100 :
            Summe += Messstelle [ 3 ] * Gewicht
            GewichtSumme += Gewicht
        Segment [ 1 ] = Summe / GewichtSumme
        VerkehrsaufkommenCursor.updateRow ( Segment )

# Verkehrsaufkommen für Gemeindestraßen berechnen
with arcpy.da.UpdateCursor ( "VerkehrswegeKl_G" , [ "SHAPE@" ,
"Verkehrsaufkommen" ] ) as VerkehrsaufkommenCursor :
    for Segment in VerkehrsaufkommenCursor :
        Mittelpunkt = Segment [ 0 ].trueCentroid
        Summe = 0
        GewichtSumme = 0
        # Iteriert durch alle Messstellen der Straßenklasse, und
gewichtet das dortige Verkehrsaufkommen mit dem Abstand
        with arcpy.da.SearchCursor ( "Messstellen_G" , [ "SHAPE@X" ,
"SHAPE@Y" , "R1JDTVGES" , "R2JDTVGES" ] ) as MessstellenCursor :
            for Messstelle in MessstellenCursor :
                Distanz = math.sqrt ( ( Mittelpunkt.X - Messstelle [ 0 ]
) ** 2 + ( Mittelpunkt.Y - Messstelle [ 1 ] ) ** 2 )
                # Eine lineare Gewichtung erhöht den Einfluss
nahegelegener Messstellen nur leicht
                Gewicht = 1 / ( ( Distanz / 1000 ) )
                # Verkehrsaufkommen als Durchschnitt beider
Fahrtrichtungen berechnen, falls in beiden Fällen Werte
vorhanden sind
                if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] > 100 :
                    Summe += ( Messstelle [ 2 ] + Messstelle [ 3 ] ) / 2
                    * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
                if Messstelle [ 2 ] > 100 and Messstelle [ 3 ] <= 100 :
                    Summe += Messstelle [ 2 ] * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
                if Messstelle [ 3 ] > 100 and Messstelle [ 2 ] <= 100 :
                    Summe += Messstelle [ 3 ] * Gewicht
                    GewichtSumme += Gewicht
                Segment [ 1 ] = Summe / GewichtSumme
                VerkehrsaufkommenCursor.updateRow ( Segment )

```

```

# Zusammenfügen der Straßentypen mit den Informationen zum
Verkehrsaufkommen
arcpy.Merge_management ( [ "VerkehrswegeKl_B" , "VerkehrswegeKl_L" ,
"VerkehrswegeKl_G" ] , "VerkehrswegeKl_ges" )

##### 3. BERECHNUNG DES VERKEHRSUNFALLRISIKOS #####

### 3.1 Berechnung der Verkehrsunfallanzahl ###

# Puffer von 20 Metern um Verkehrswege legen, um dort stattgefundenene
Unfälle identifizieren zu können
arcpy.Buffer_analysis ( "VerkehrswegeKl_ges" , "VerkehrswegeKl_ges_Buf"
, "20 METERS" )

# Spatial Join der Unfälle in Puffer der Verkehrswege
arcpy.SpatialJoin_analysis ( "VerkehrswegeKl_ges_Buf" , "UnfaellePJ" ,
"VerkehrswegeKl_Unfaelle" )
arcpy.AddField_management ( "VerkehrswegeKl_Unfaelle" , "UnfallAnzahl" ,
"DOUBLE" )
arcpy.CalculateField_management ( "VerkehrswegeKl_Unfaelle" ,
"UnfallAnzahl" , " !JOIN_COUNT! " , "PYTHON_9.3" )

### 3.2 Berechnung des Verkehrsunfallrisikos ###

# Berechnung des Verkehrsunfallrisikos je Verkehrswegesegment
arcpy.AddField_management ( "VerkehrswegeKl_Unfaelle" , "Unfallrisiko" ,
"DOUBLE" )
with arcpy.da.UpdateCursor ( "VerkehrswegeKl_Unfaelle" , [
"Verkehrsaufkommen" , "UnfallAnzahl" , "SHAPE_LENGTH" , "Unfallrisiko" ]
) as UnfallrisikoCursor :
    for Segment in UnfallrisikoCursor :
        Segment [ 3 ] = Segment [ 1 ] * 10 ** 6 / Segment [ 0 ] /
        ( Segment [ 2 ] / 1000 ) / 365 / float ( Weglaengenanteil ) /
        2.049
        UnfallrisikoCursor.updateRow ( Segment )

# Spatial Join der Unfälle in Puffer der Verkehrswege
arcpy.SpatialJoin_analysis ( VerkehrswegeKlass ,
"VerkehrswegeKl_Unfaelle" , "VerkehrswegeKl_ges_Unfallrisiko" , "" , ""
, "" , "WITHIN" )

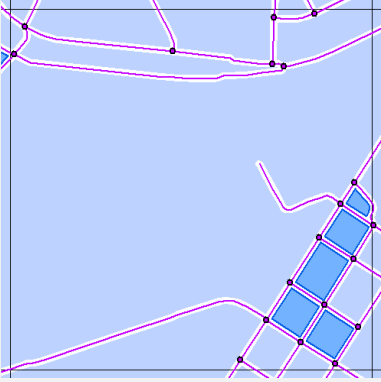
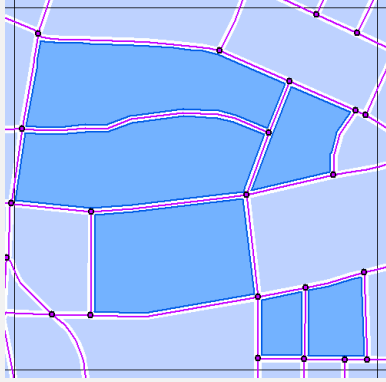
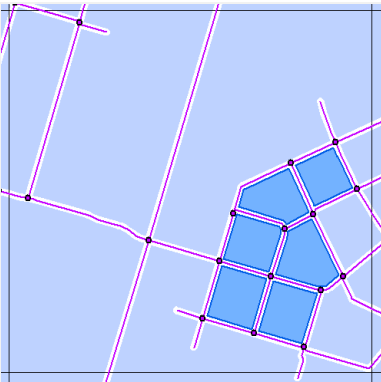
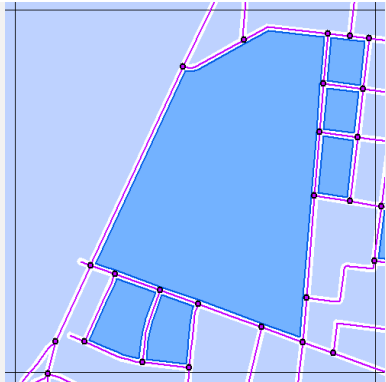
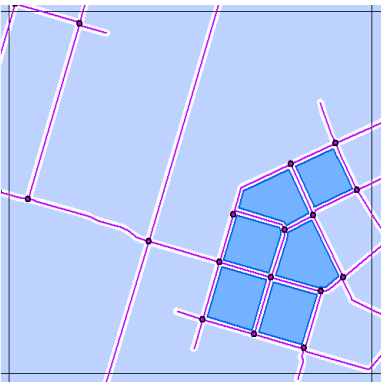
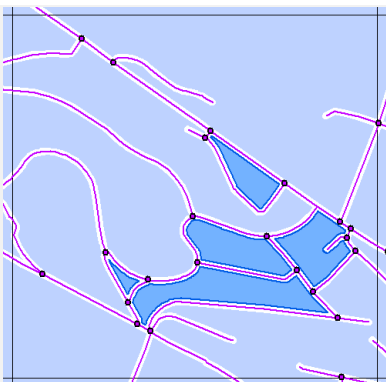
```

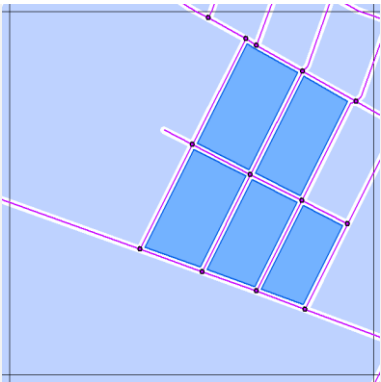
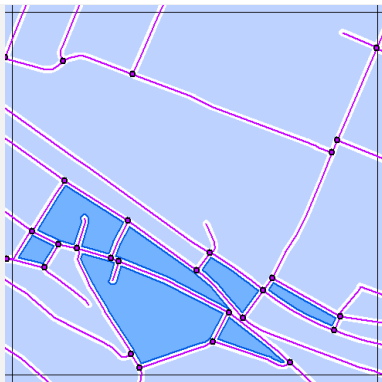
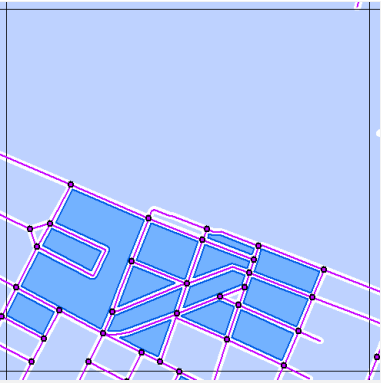
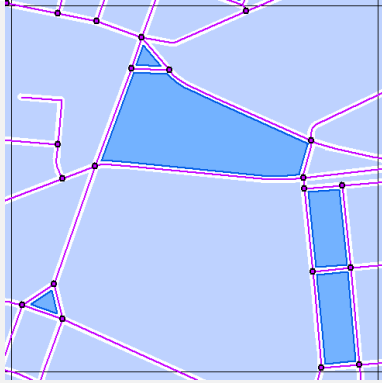
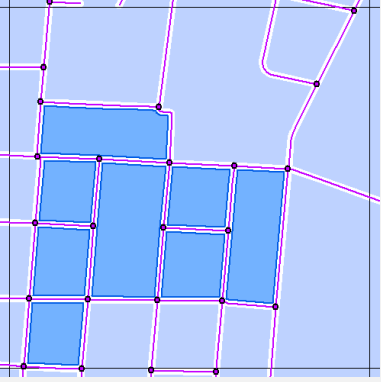
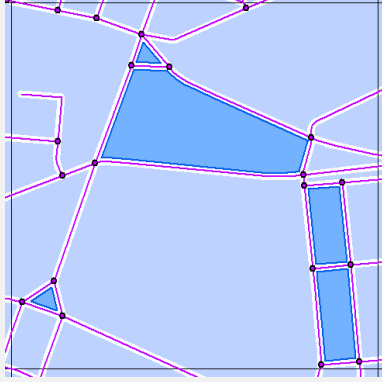
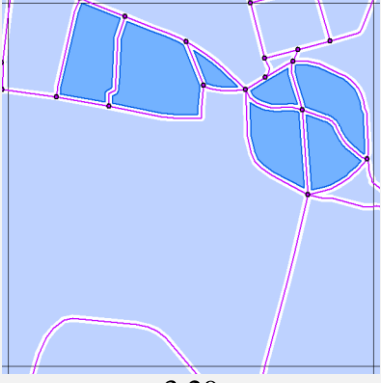
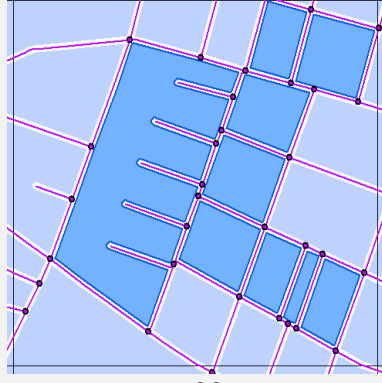
```

# Field Mapping zu Verkehrsunfallrisiko erstellen, um dieses auf den
Raster zu aggregieren
InputFC = "VerkehrswegeKl_ges_Unfallrisiko"
FMS = arcpy.FieldMappings ()
FMS.addTable ( InputFC )
# Mittelwert der kleinsten Schnittwinkel pro Rasterzelle
fmDS = arcpy.FieldMap ()
fmDS.addInputField ( InputFC , "Unfallrisiko" )
fmDS.mergeRule = "Mean"
fmDS_name = fmDS.outputField
fmDS_name.type = "DOUBLE"
fmDS_name.name = "UnfallrisikoDS"
fmDS_name.aliasName = "UnfallrisikoDS"
fmDS.outputField = fmDS_name
FMS.addFieldMap( fmDS )
# Standardabweichung der kleinsten Schnittwinkel pro Rasterzelle
fmSA = arcpy.FieldMap ()
fmSA.addInputField ( InputFC , "Unfallrisiko" )
fmSA.mergeRule = "StdDev"
fmSA_name = fmSA.outputField
fmSA_name.type = "DOUBLE"
fmSA_name.name = "UnfallrisikoSA"
fmSA_name.aliasName = "UnfallrisikoSA"
fmSA.outputField = fmSA_name
FMS.addFieldMap ( fmSA )
# Spatial Join mit erstelltem Fieldmappings-Objekt durchführen
arcpy.SpatialJoin_analysis ( Grid , InputFC ,
"grid1000_mind5Bloekedrin_Unfallrisiko" , "" , "" , FMS )

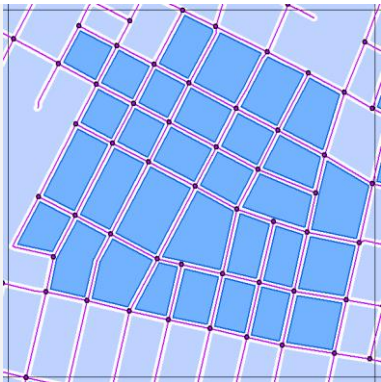
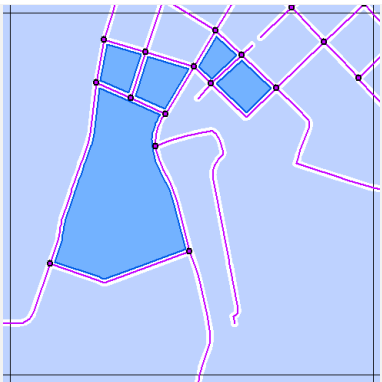
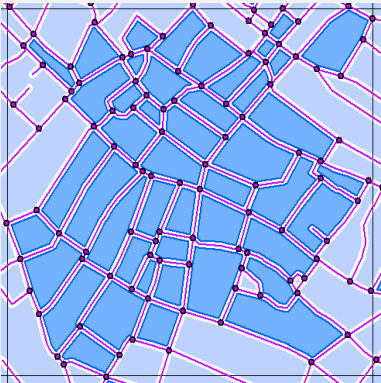
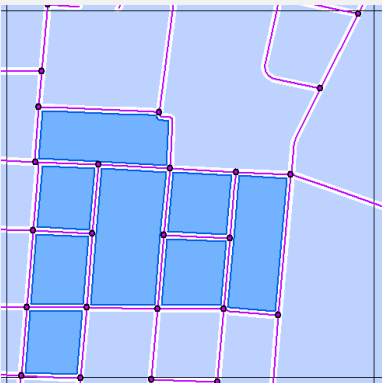
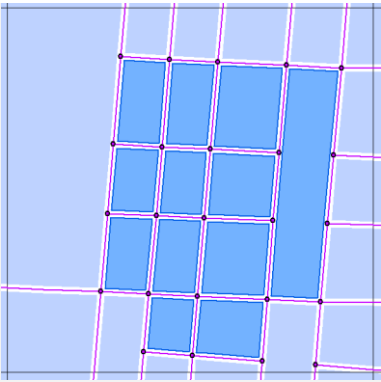
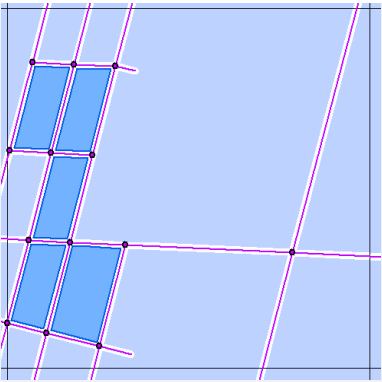
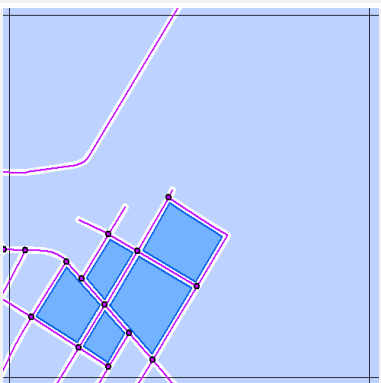
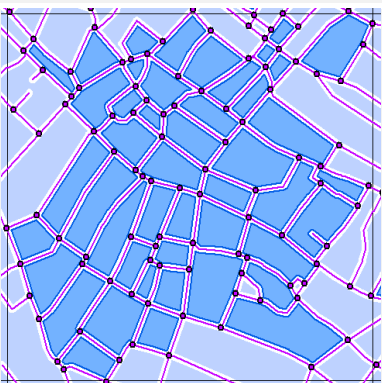
```

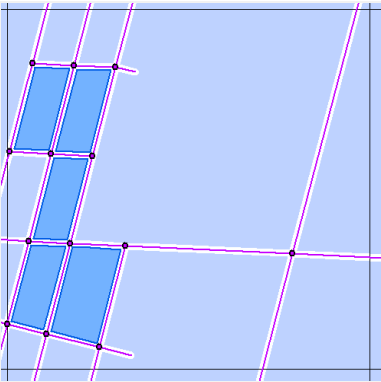
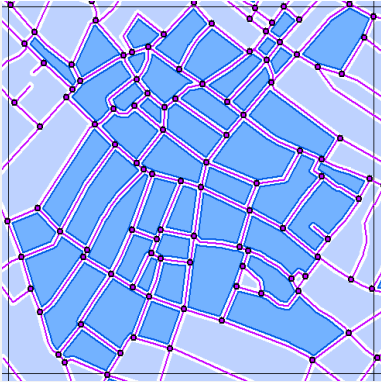
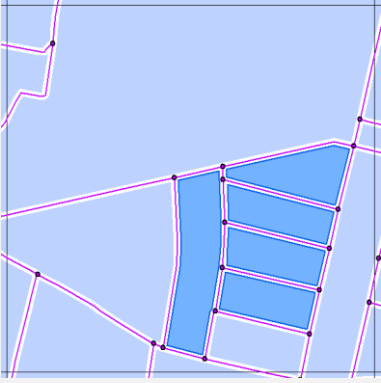
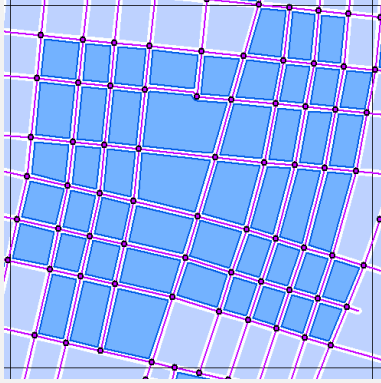
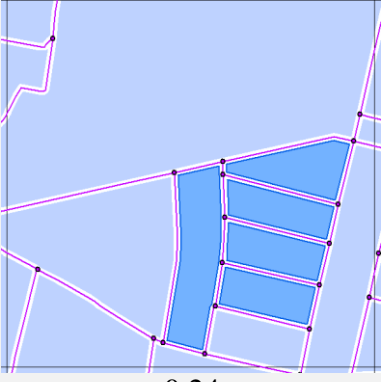
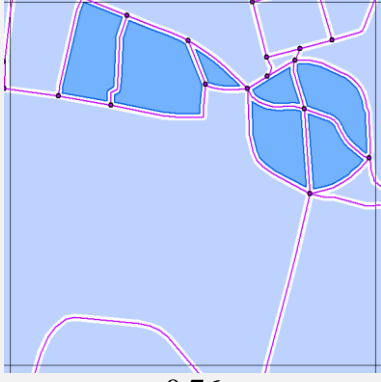
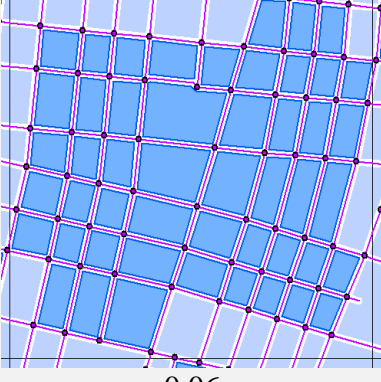
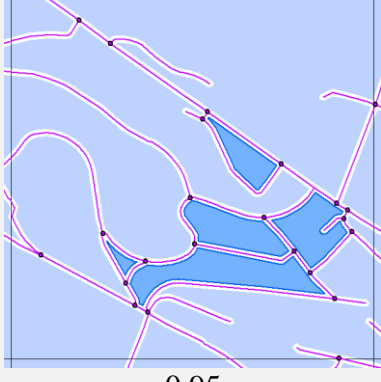
Anhang III : Übersicht über die Rasterzellen mit minimalem und maximalem Wert jeder Kennzahl

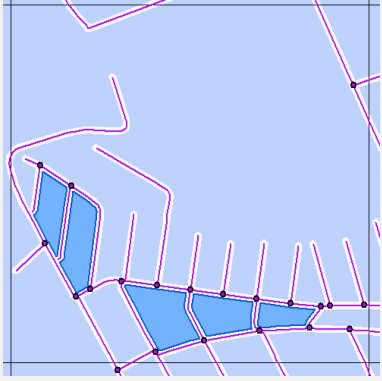
Kennzahl	Minimum	Maximum
Blockfläche DS	 <p>8.213,71 m²</p>	 <p>77.434,99 m²</p>
Blockfläche SA	 <p>1.867,17 m²</p>	 <p>132.771,39 m²</p>
Verzerrung DS	 <p>1,70</p>	 <p>5,36</p>

Kennzahl	Minimum	Maximum
Verzerrung SA	 <p>0,07</p>	 <p>2,78</p>
Zentroidabstand DS	 <p>82,82 m</p>	 <p>313,79 m</p>
Zentroidabstand SA	 <p>4,41 m</p>	 <p>154,73 m</p>
Begrenz. Segmente DS	 <p>3,29</p>	 <p>6,33</p>

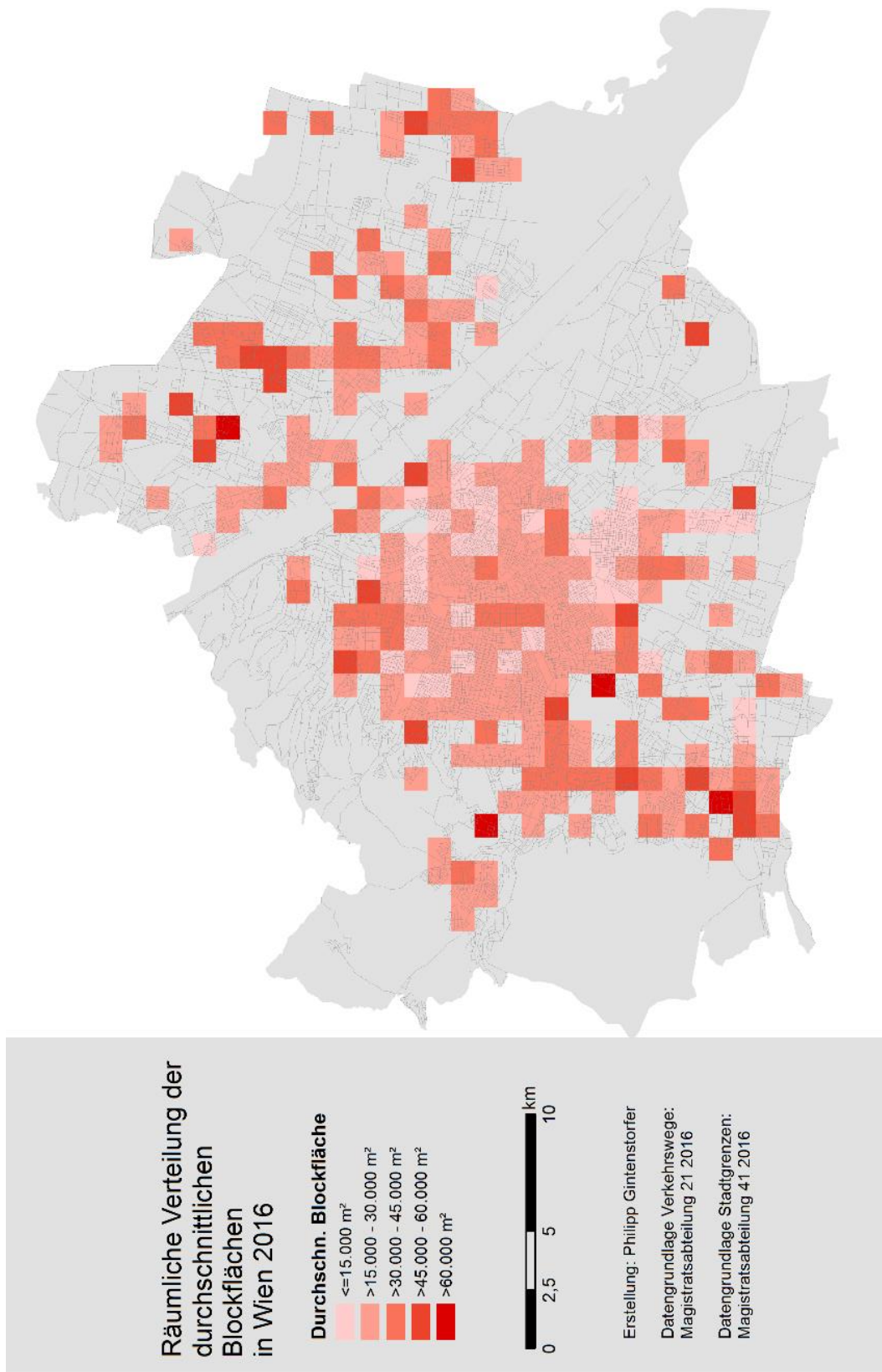
Kennzahl	Minimum	Maximum
Begrenz. Segmente SA	 <p>jeweils 0,00</p>	 <p>4,84</p>
Min. Schnittwinkel DS	 <p>58,06 °</p>	 <p>88,81 °</p>
Min. Schnittwinkel SA	 <p>1,10 °</p>	 <p>27,95 °</p>
Segmentlänge DS	 <p>96,85 m</p>	 <p>239,51 m</p>

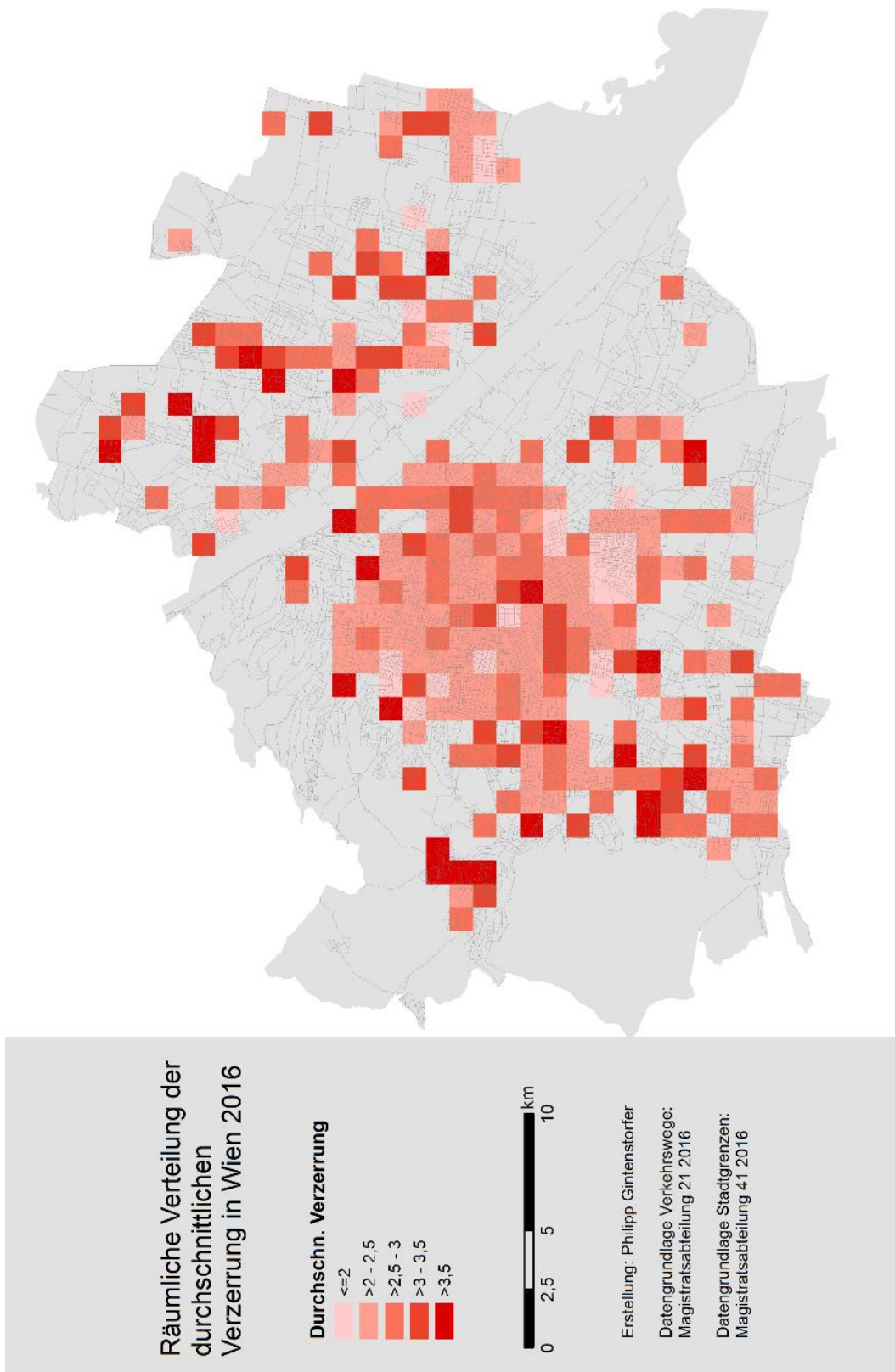
Kennzahl	Minimum	Maximum
Segmentlänge SA	 <p>35,78 m</p>	 <p>166,07 m</p>
Kreuzungsabstand DS	 <p>56,52 m</p>	 <p>159,05 m</p>
Kreuzungsabstand SA	 <p>8,17 m</p>	 <p>99,17 m</p>
Verkehrswegdichte	 <p>4.017,10 m</p>	 <p>19.733,30 m</p>

Kennzahl	Minimum	Maximum
Kreuzungsdichte	 <p>12</p>	 <p>97</p>
Zusammenstr. Segmente DS	 <p>3,06</p>	 <p>3,94</p>
Zusammenstr. Segmente SA	 <p>0,24</p>	 <p>0,76</p>
T-Verhältnis	 <p>0,06</p>	 <p>0,95</p>

Kennzahl	Minimum	Maximum
Sackgassenverhältnis	Insgesamt 47 Rasterzellen mit dem Wert 0 (d. h. keine Sackgassen vorhanden)	 <p>2,40</p>

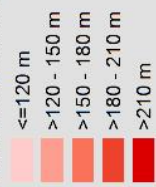
Anhang IV : Räumliche Verteilung ausgewählter geometrischer und topologischer Kennzahlen





Räumliche Verteilung des durchschnittlichen Zentroidabstands in Wien 2016

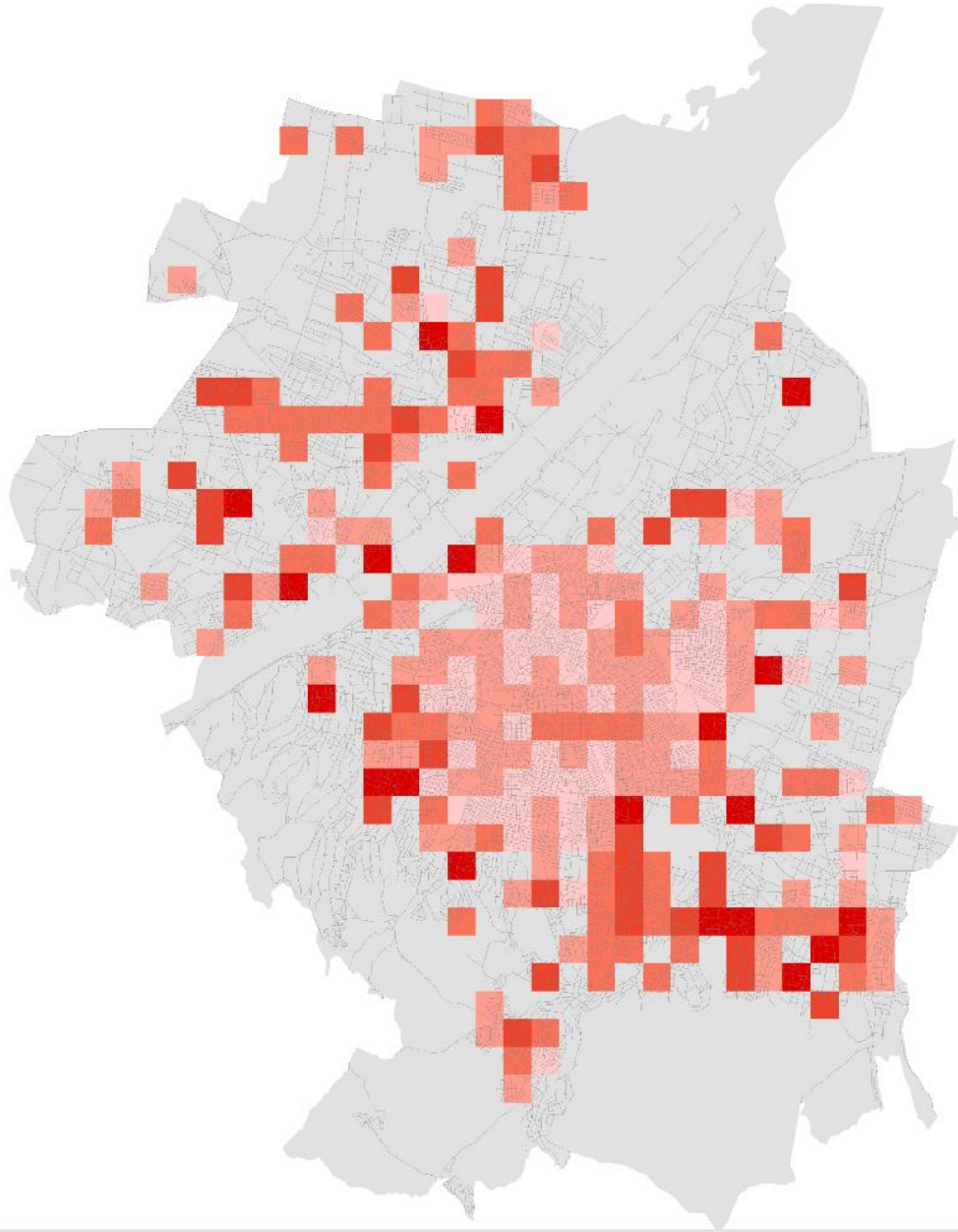
Durchschn. Zentroidabstand

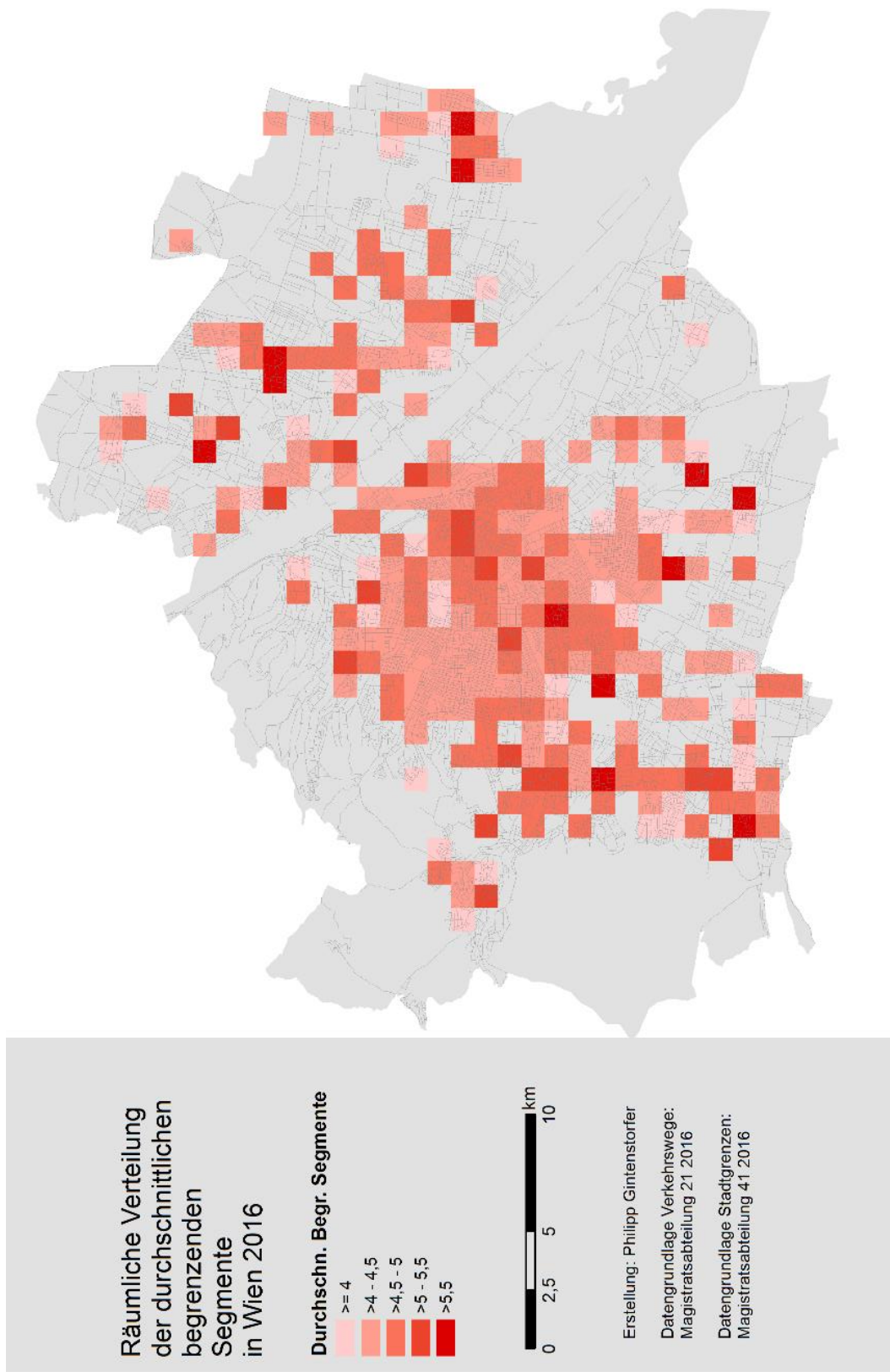


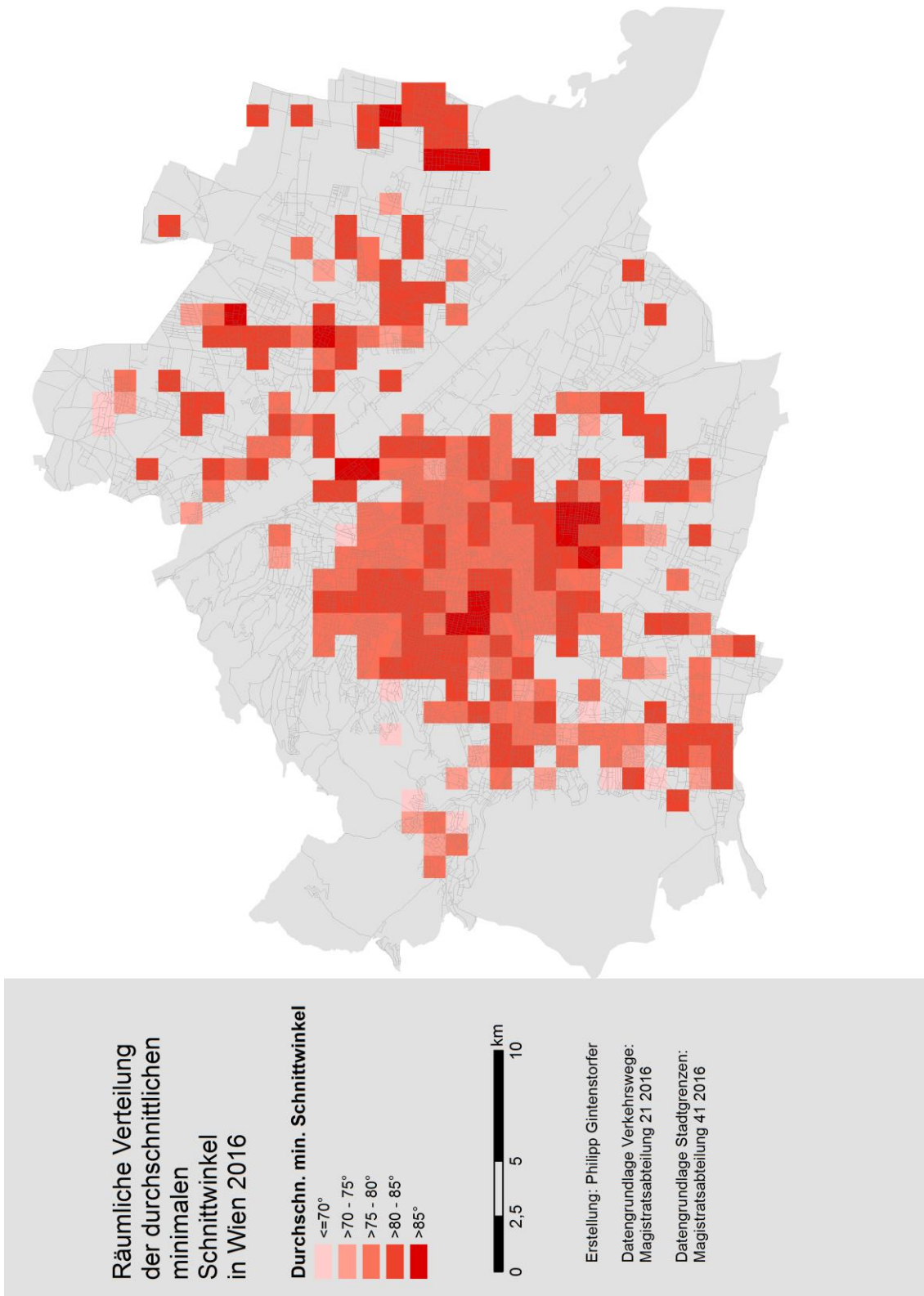
Erstellung: Philipp Gintensorfer

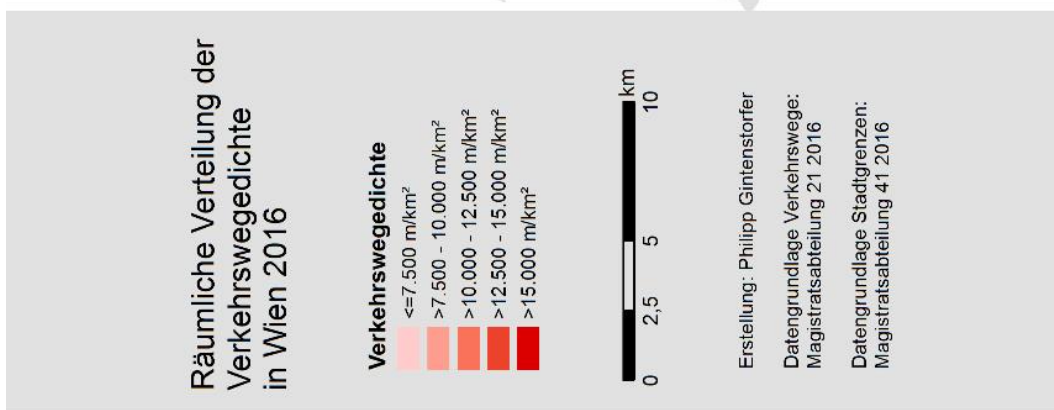
Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

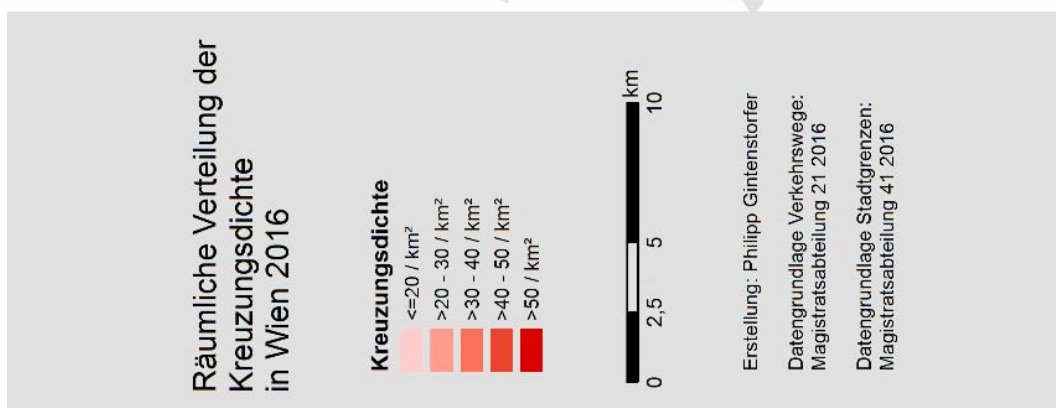
Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016

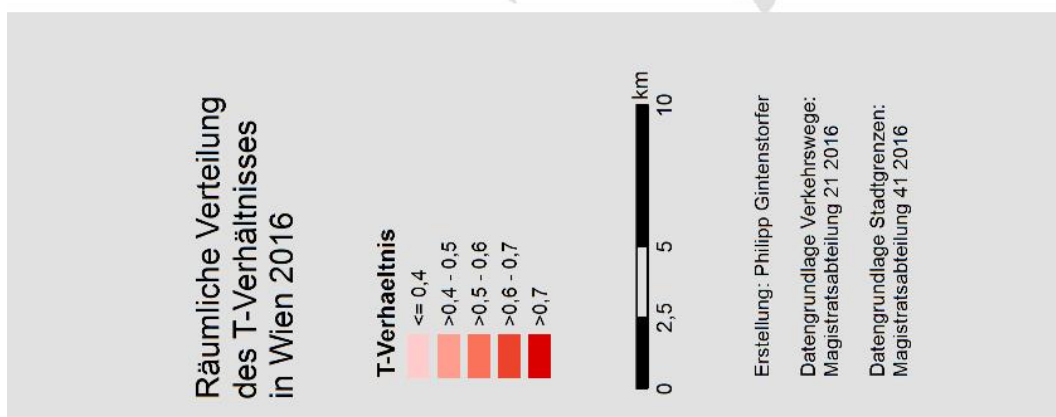


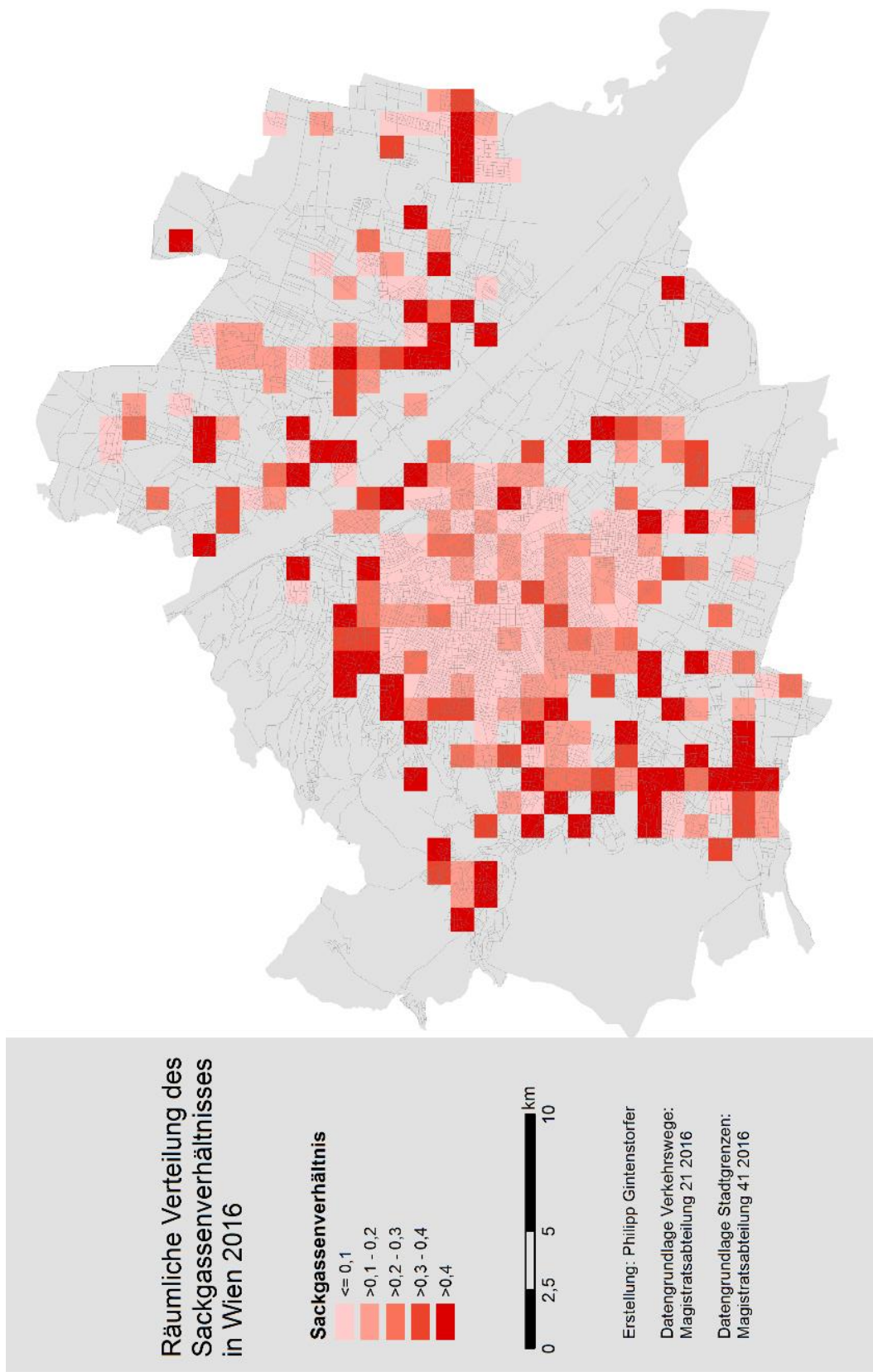












Anhang V : Verkehrsunfallrisiko allgemein, nach Geschlecht und nach Verkehrsmittel



Verkehrsunfallrisiko von Männern in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

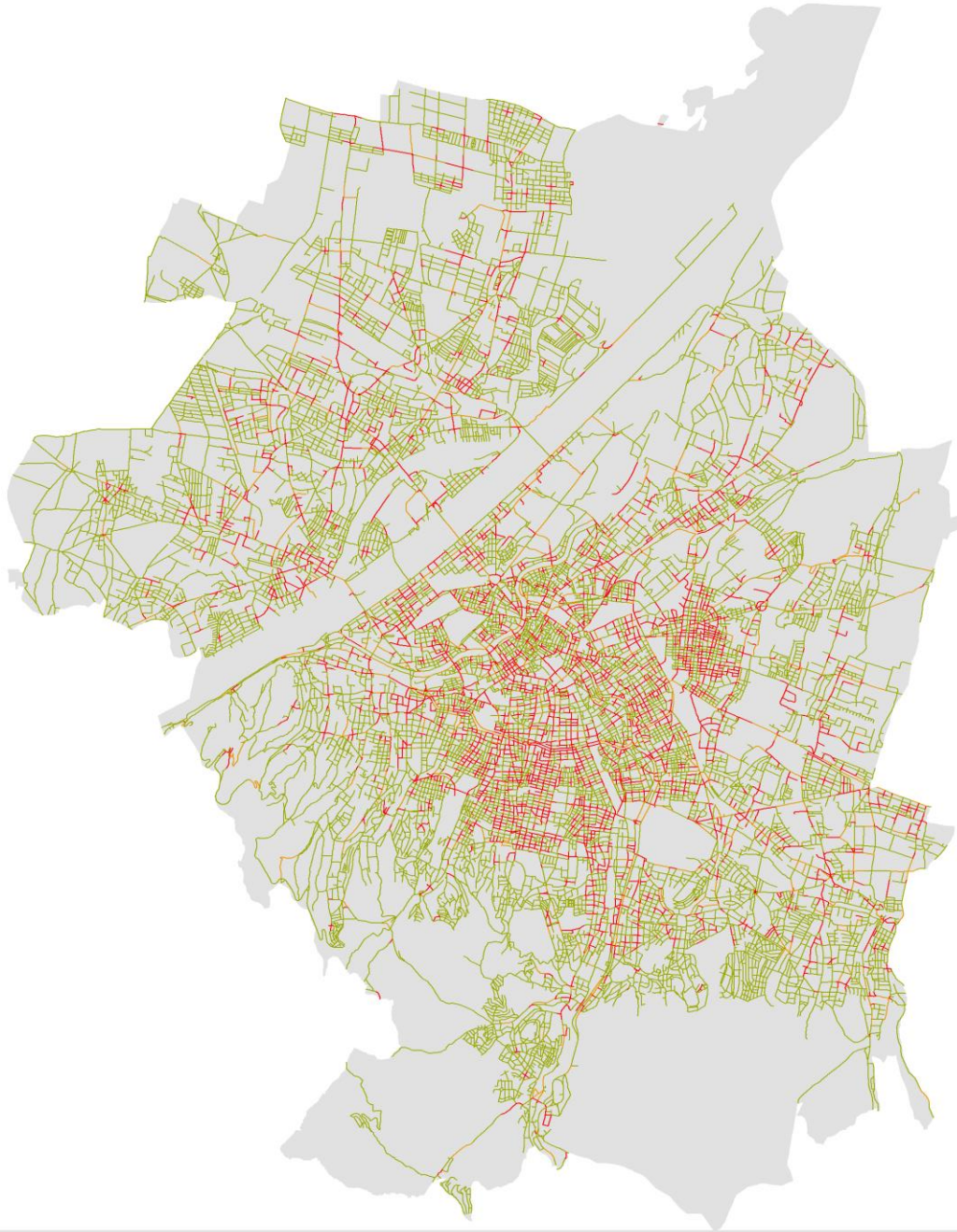
- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko von Frauen in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

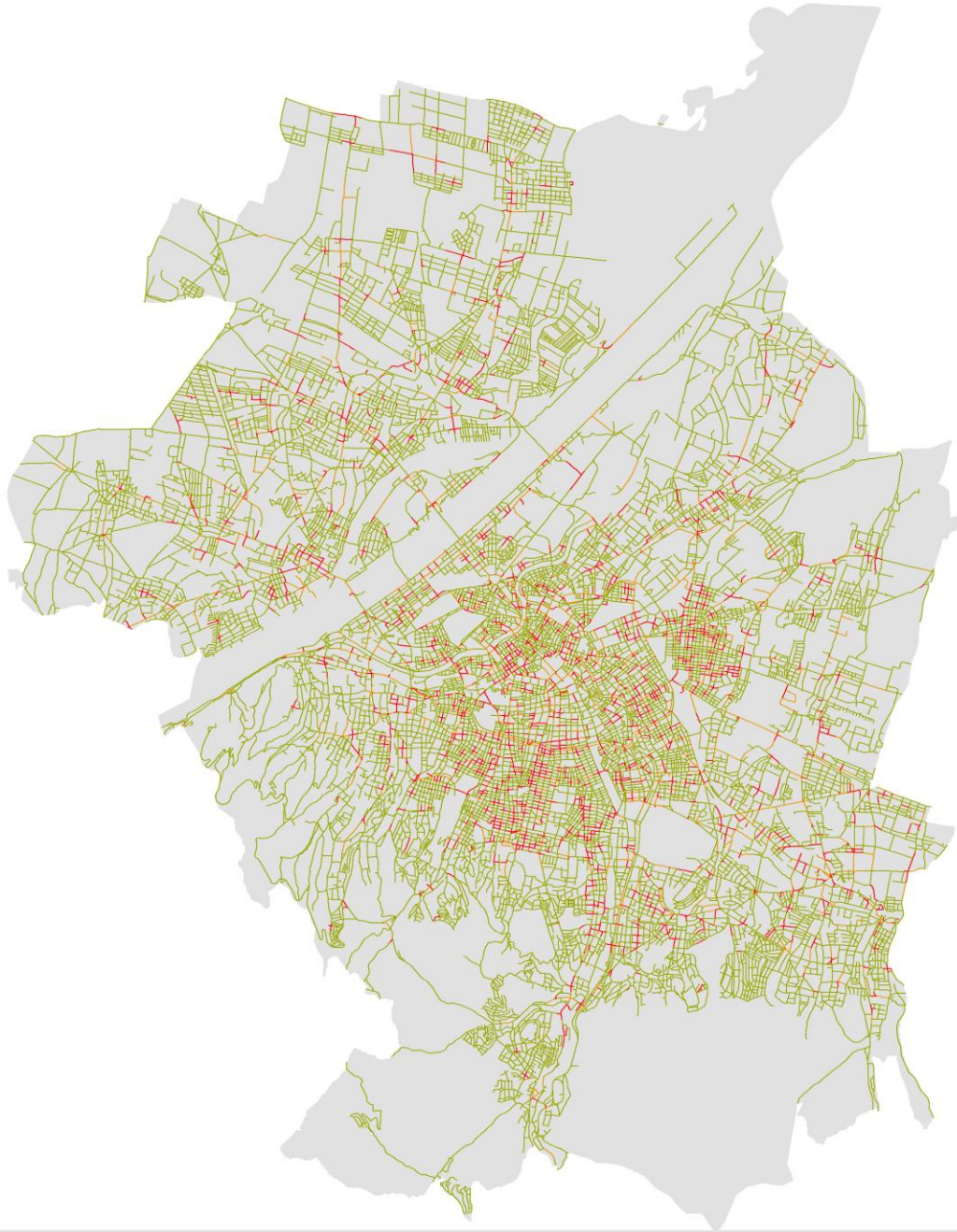
- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko von Fußgängerinnen und Fußgängern in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko des NMIV in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko des ÖV in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

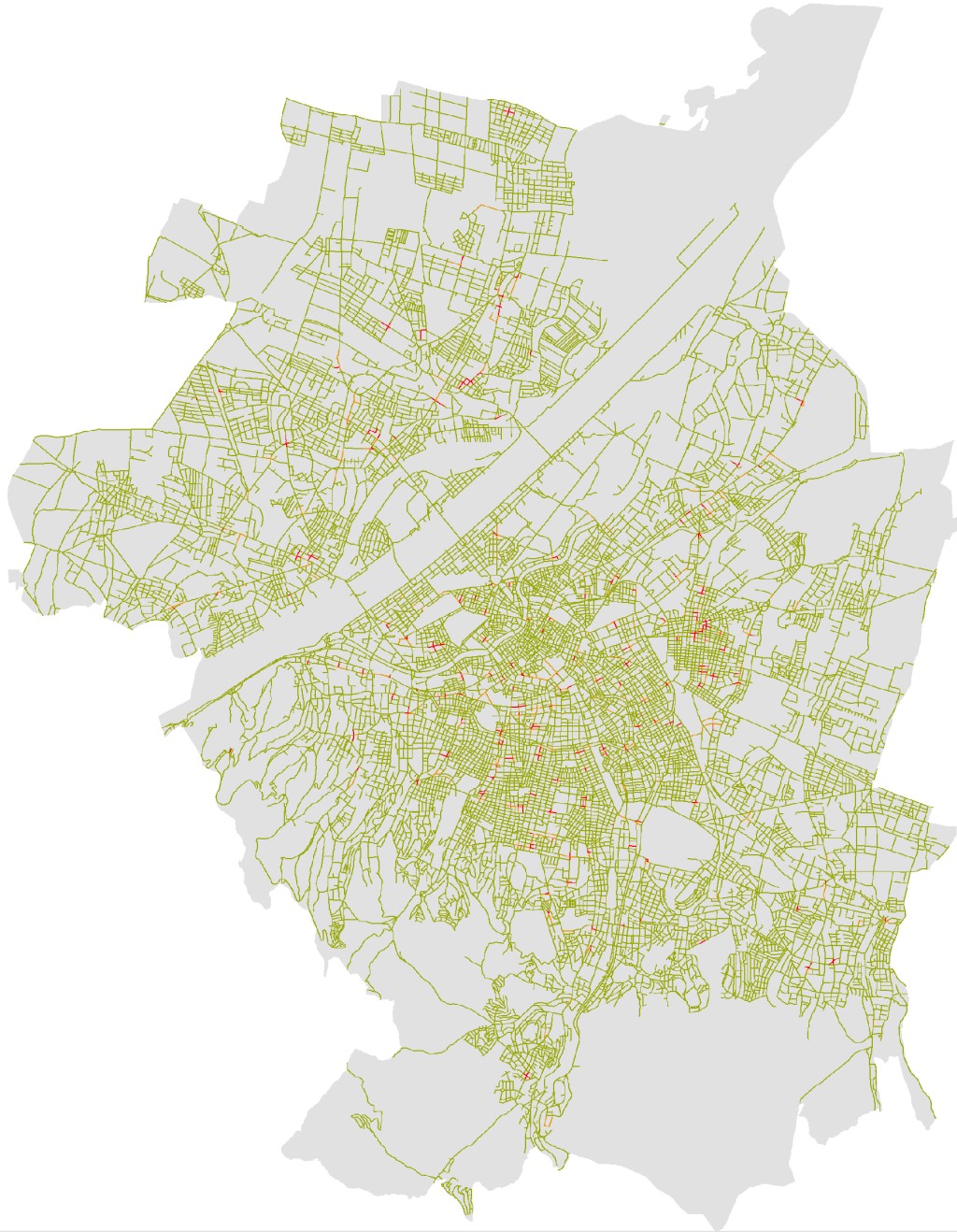
- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko des EMIV in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko des ZMIIV in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

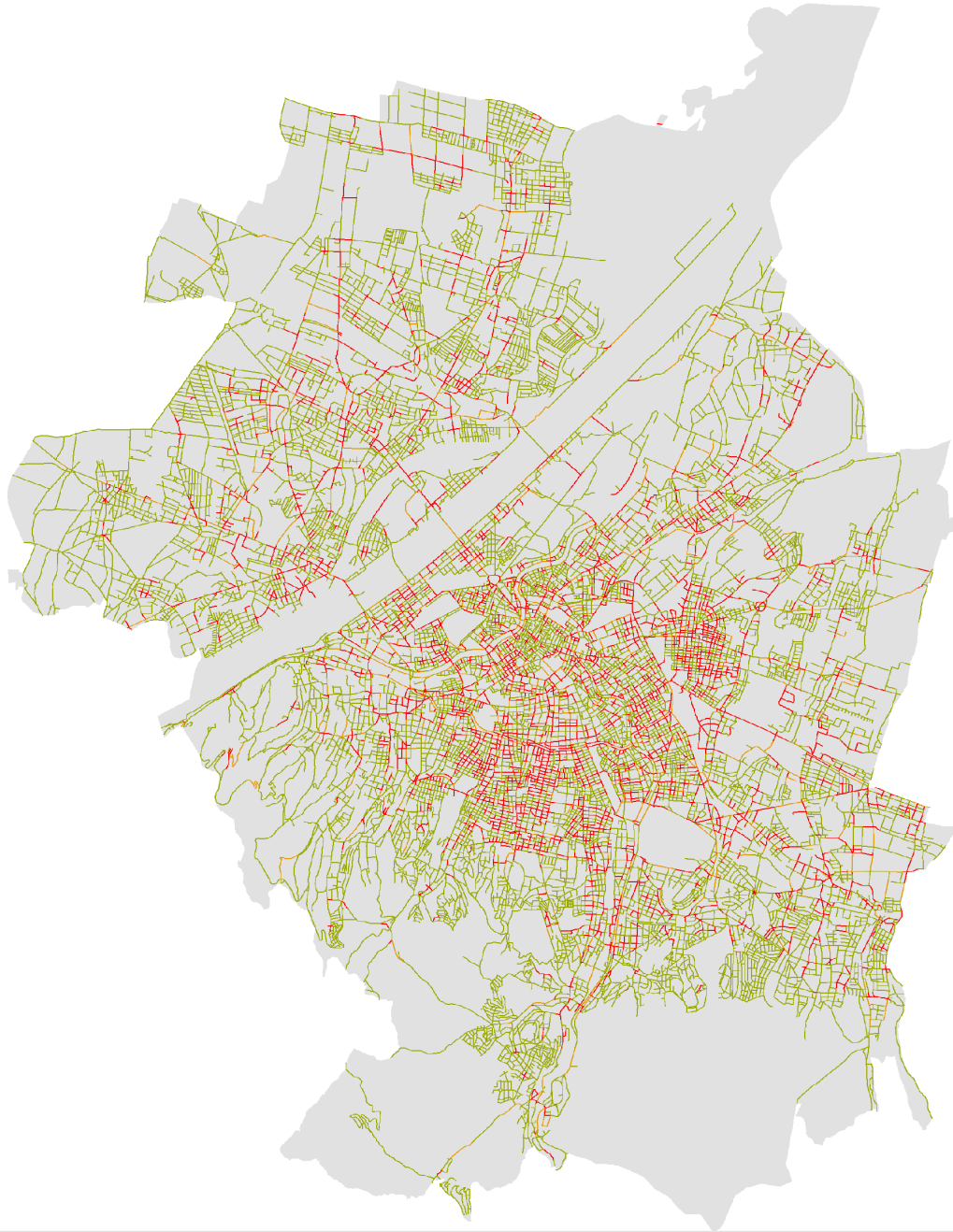
- bis 0,5
- > 0,5 - 2,0
- > 2,0



Erstellung: Philipp Gintensforfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung von Männern als Hauptverursachende in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

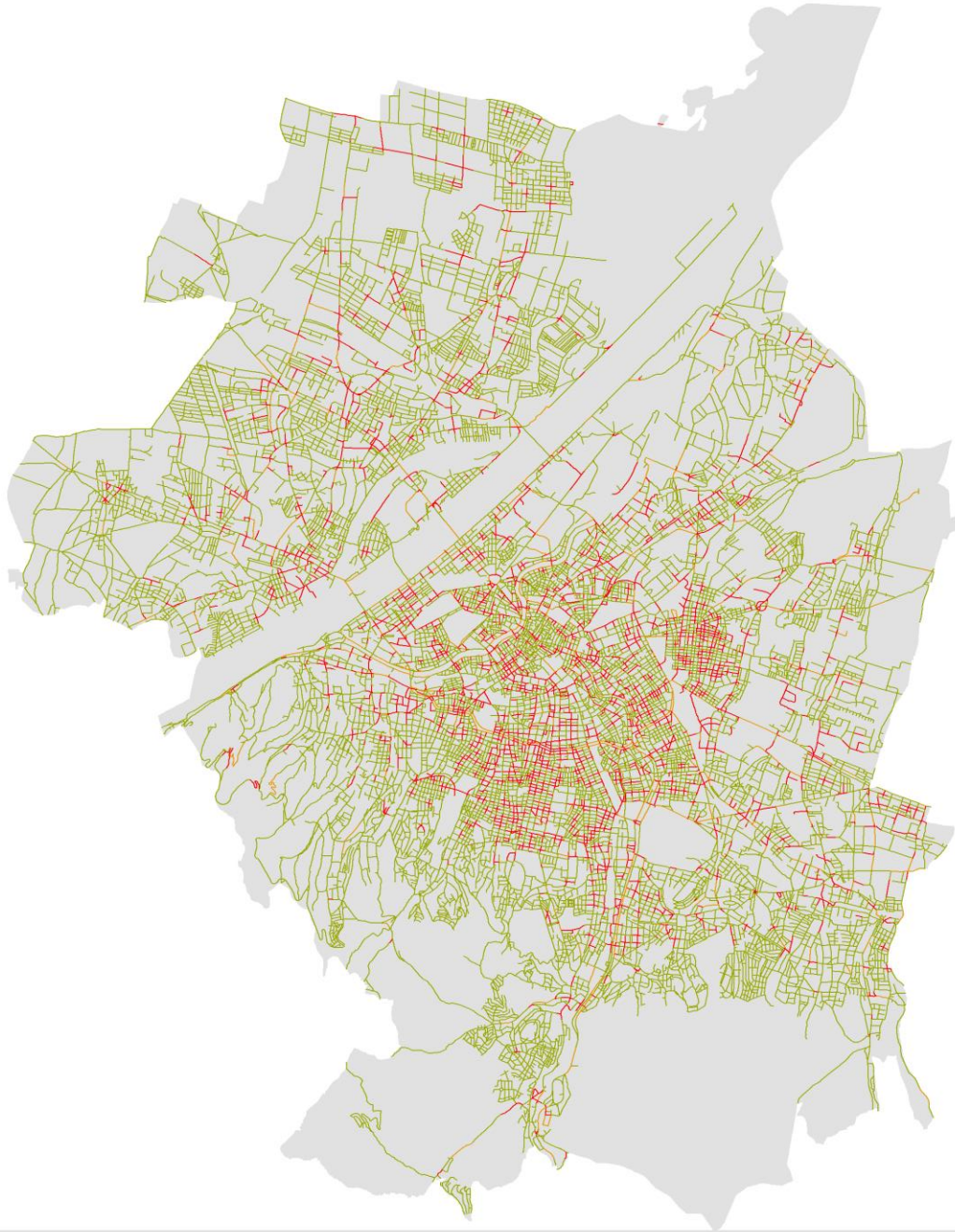
— $\leq 0,1$
— $>0,1 - 1$
— >1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung von Frauen als Hauptverursachende in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

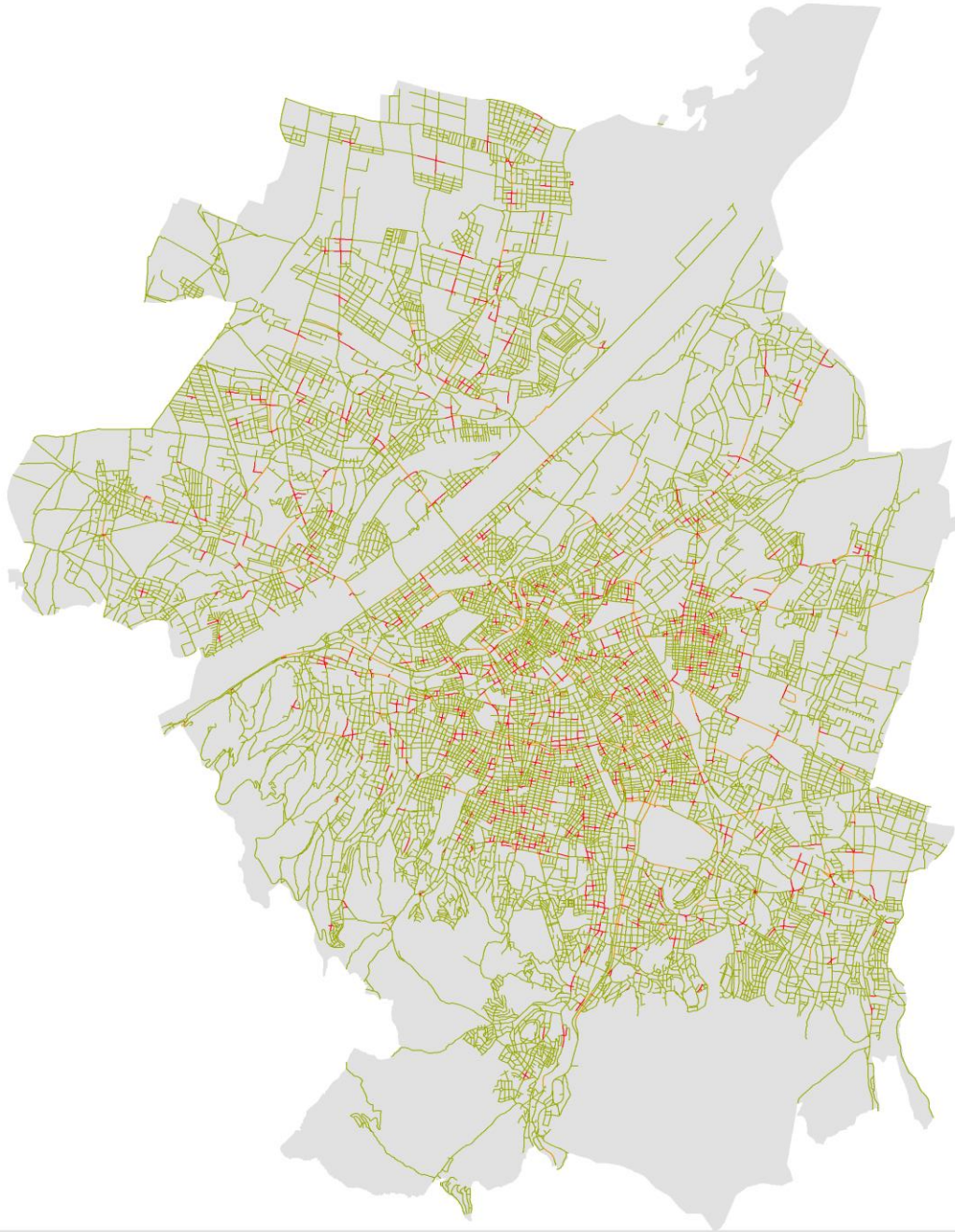
— $\leq 0,1$
— $>0,1 - 1$
— >1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung der Fußgängerinnen und Fußgänger als Hauptverursachende in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

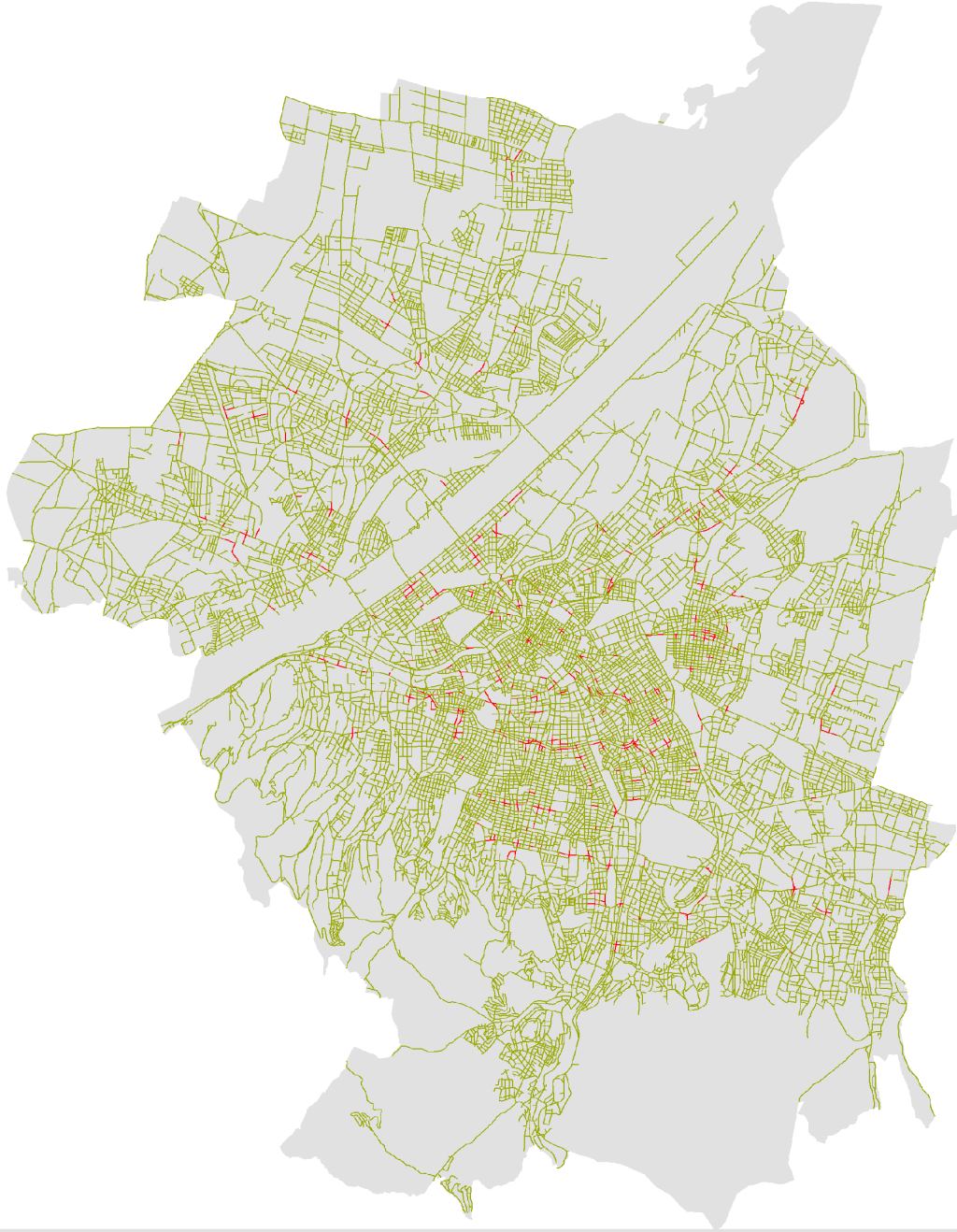
≤ 0,1
> 0,1 - 1
> 1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung des NMIV als Hauptverursachender in Wien 2016

VerkehrswegeKI_ges_Unfallrisiko

Verkehrsunfallrisiko

<= 0,1

>0,1 - 1

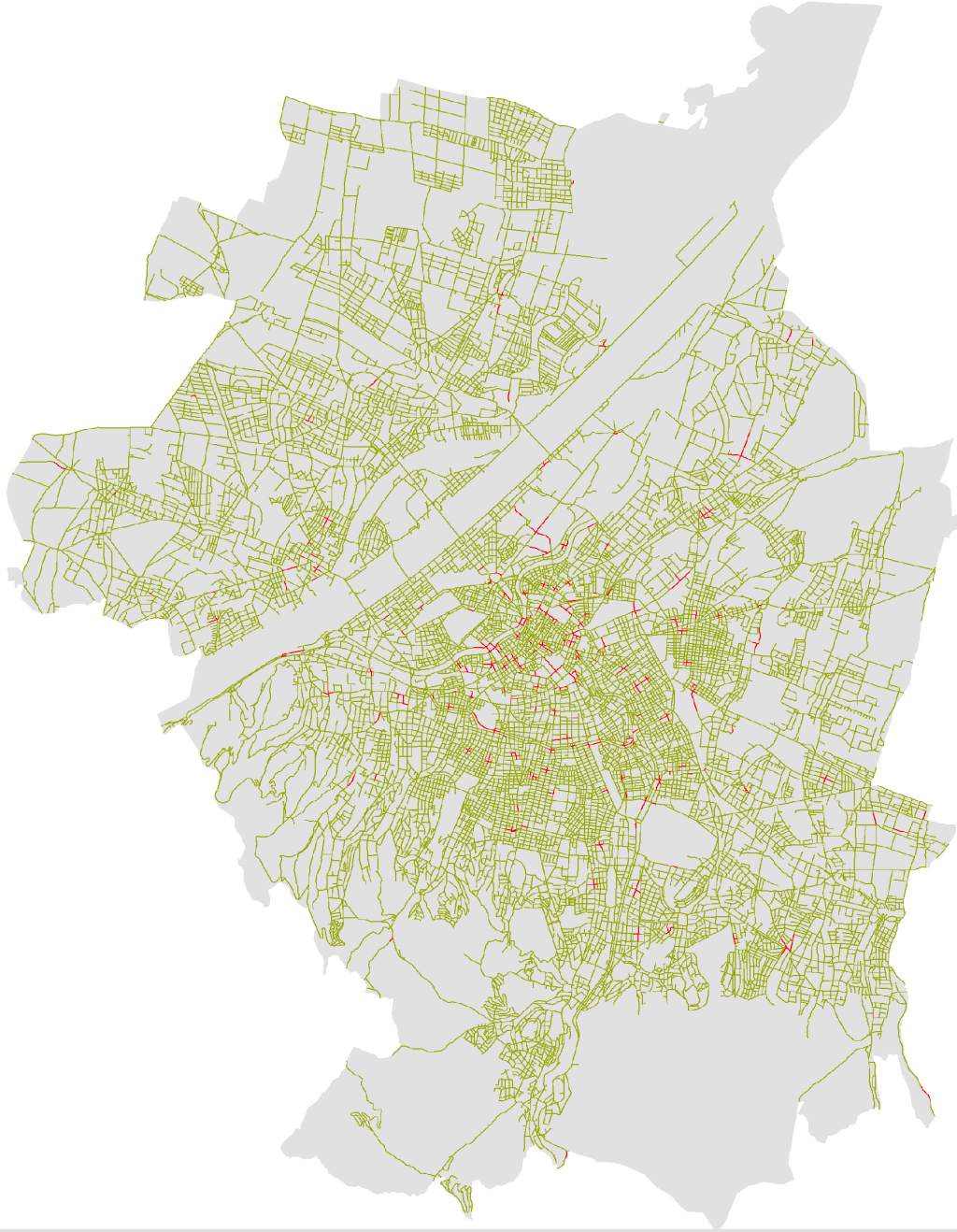
>1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung des ÖV als Hauptverursachender in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

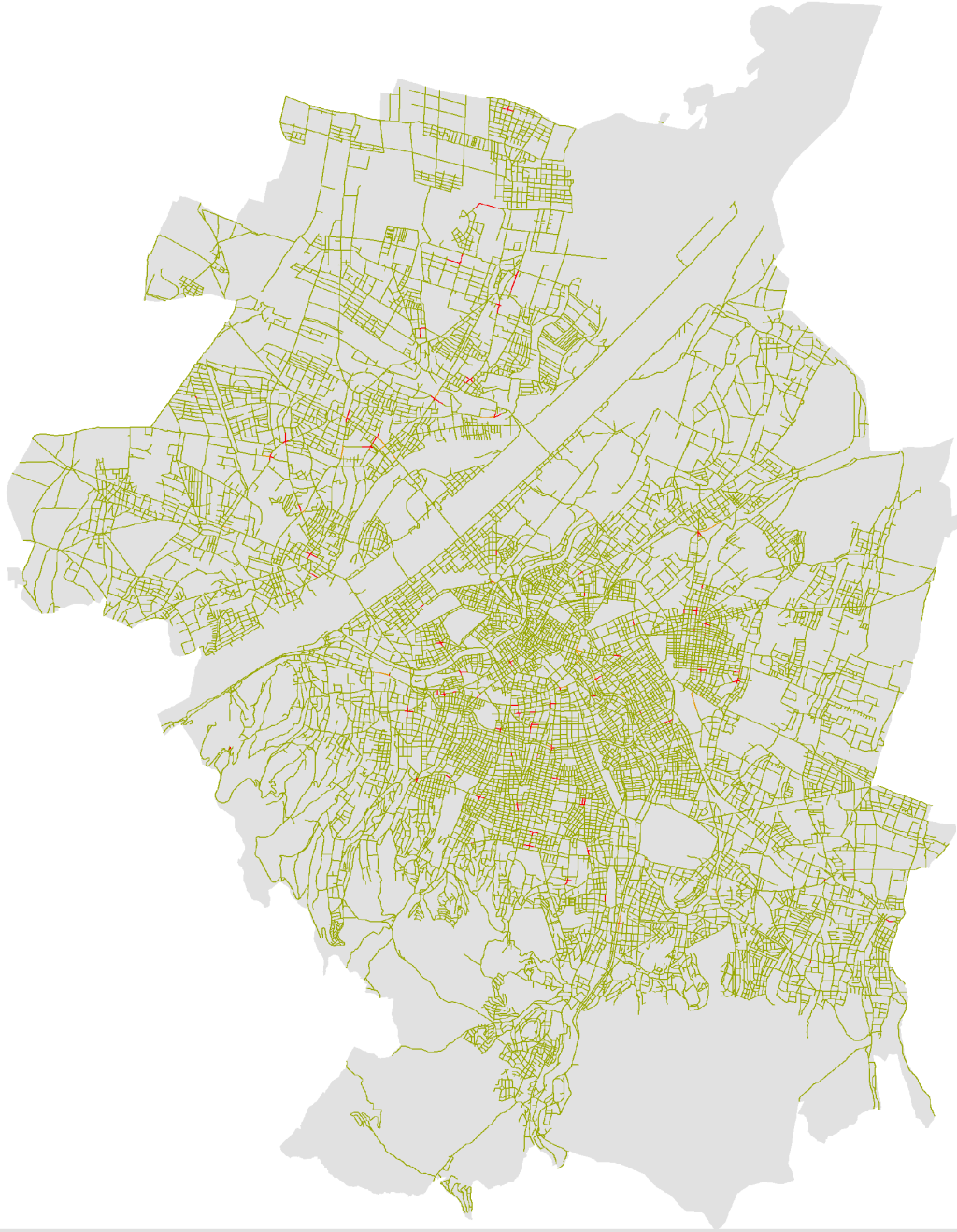
≤ 0,1
>0,1 - 1
>1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung des EMIV als Hauptverursachender in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

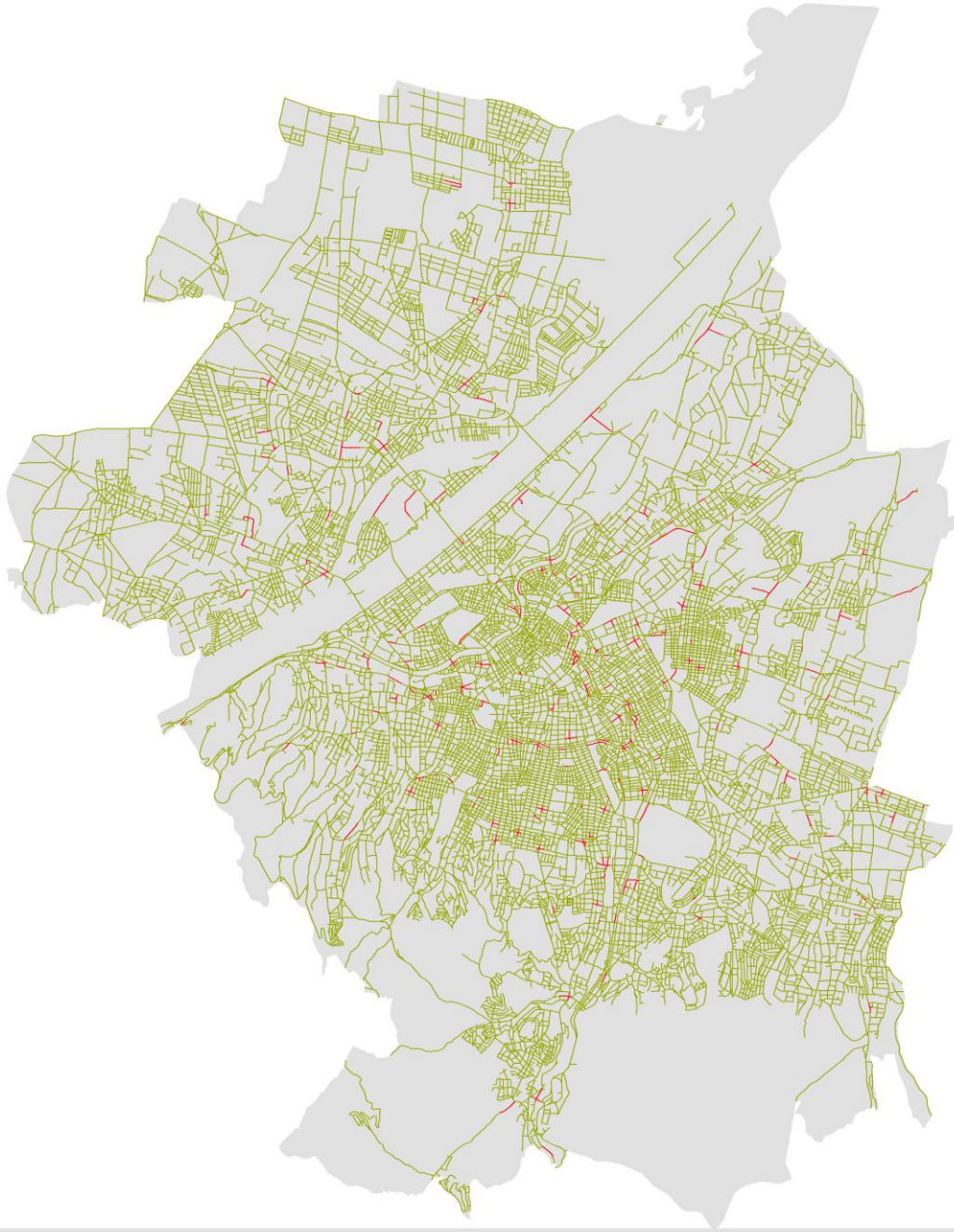
— $\leq 0,1$
— $>0,1 - 1$
— >1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Verkehrsunfallrisiko für eine Beteiligung des ZMIV als Hauptverursachender in Wien 2016

Verkehrsunfallrisiko
in VUPS / d / km (ppm)

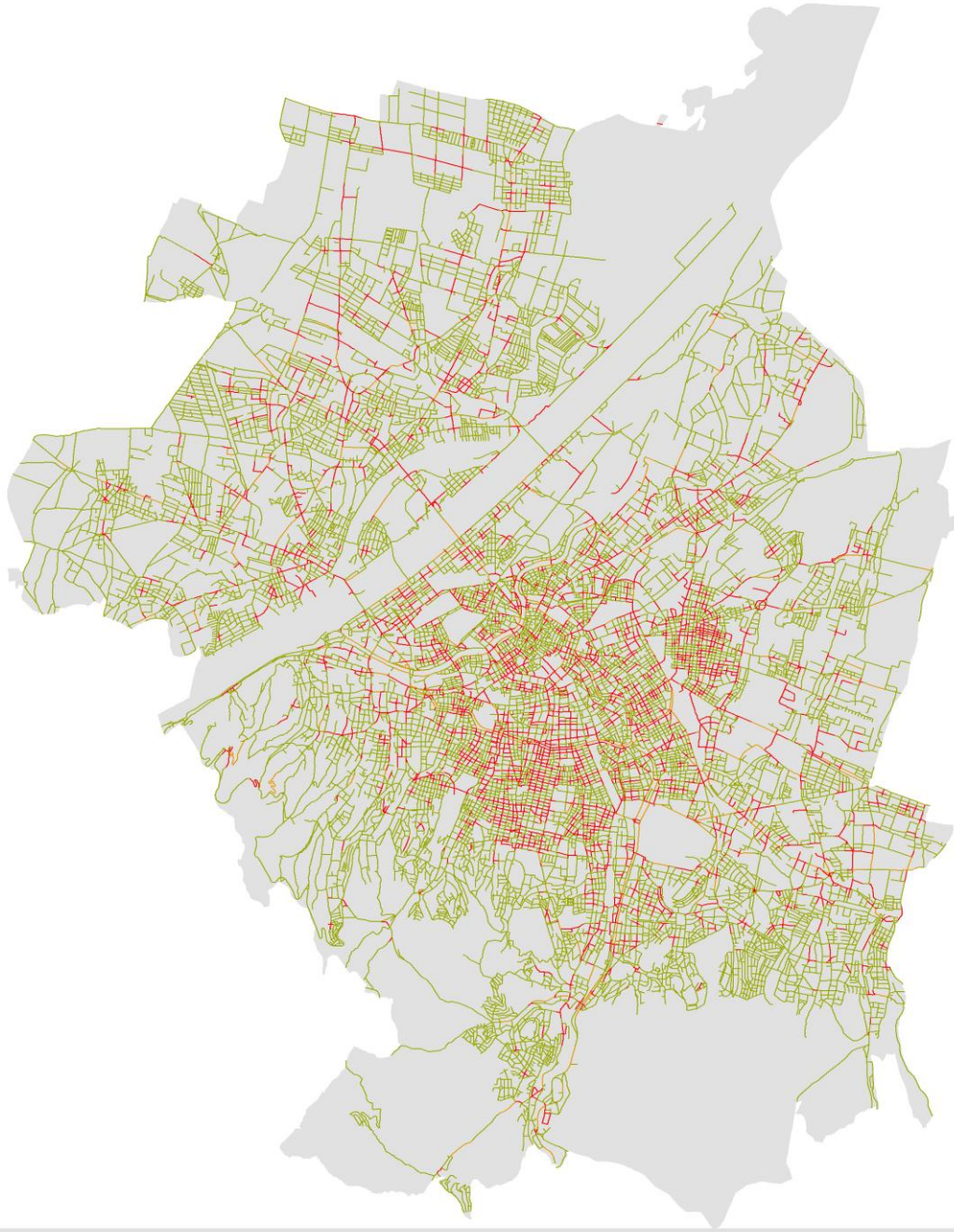
≤ 0,1
> 0,1 - 1
> 1

0 2,5 5 10 km

Erstellung: Philipp Gintensorfer

Datengrundlage Verkehrswege:
Magistratsabteilung 21 2016

Datengrundlage Stadtgrenzen:
Magistratsabteilung 41 2016



Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift